



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR – TL 141584
PENGARUH KOMPOSISI DAN PROSES BALL MILL
SERBUK TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN MORFOLOGI MATERIAL KOMPOSIT
TEMBAGA/VINIL ESTER UNTUK MATERIAL
PELURU FRANGIBLE**

**HARITS ADLIARSO NUGROHO
NRP 02511440000131**

**Dosen Pembimbing:
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR – TL 141584

**PENGARUH KOMPOSISI DAN PROSES
BALL MILL SERBUK TEMBAGA
TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
MORFOLOGI MATERIAL KOMPOSIT
TEMBAGA/VINIL ESTER UNTUK
MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

**HARITS ADLIARSO NUGROHO
NRP. 02511440000131**

**Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si**

**Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

***THE EFFECT OF COPPER POWDER
COMPOSITION AND BALL MILLING
PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES
AND MORPHOLOGY OF COPPER/VINYL
ESTER COMPOSITE FOR FRANGIBLE
BULLET MATERIAL***

**HARITS ADLIARSO NUGROHO
NRP. 02511440000131**

Advisor

**Dr.Eng. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si**

**Material Engineering Department
Fakulty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH KOMPOSISI DAN PROSES BALL MILL
SERBUK TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN MORFOLOGI MATERIAL KOMPOSIT
TEMBAGA/VINIL ESTER UNTUK MATERIAL
PELURU *FRANGIBLE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industry
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Harits Adliarso Nugroho

02511440000131

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Dr. Eng. Hosta Ardhyana S.T., M.Sc.... (Pembimbing I)

Dr. Widyastuti, S.S., M.Si..... (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH KOMPOSISI DAN PROSES BALL MILL
SERBUK TEMBAGA TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN MORFOLOGI MATERIAL KOMPOSIT
TEMBAGA/VINIL ESTER UNTUK MATERIAL
PELURU *FRANGIBLE***

Nama Mahasiswa : Harits Adliarso Nugroho
NRP : 02511440000131
Departemen : Teknik Material ITS
DosenPembimbing :Dr. Eng. Hosta Ardhyananta,
S.T.,M.Sc
Dr. Widyastuti S.Si.,M.Si.

ABSTRAK

Peluru *frangible* merupakan peluru yang akan hancur saat menghantam permukaan material. Material utama pada peluru *frangible* adalah Cu-Sn. Pada penelitian kali ini, logam Sn akan diganti oleh *Vinyl Ester* dalam proses pembuatan peluru *frangible*. Proses pembuatan peluru *frangible* menggunakan metode *casting*/pengecoran. Serbuk tembaga yang digunakan akan diproses menggunakan *ball mill*. Komposit yang akan dibuat memiliki 4 variasi komposisi serbuk tembaga, 20%, 30%, 40%, 50%. Komposit Cu/VE ini akan diuji menggunakan uji kekerasan, uji FTIR, uji densitas, uji tekan, dan uji morfologi menggunakan SEM. Hasil pengujian kekuatan tekan mengalami peningkatan pada material serbuk Cu yang melalui proses ball mill. Kekuatan tekan mengalami

peningkatan sebesar 78%. Peningkatan ini cukup baik untuk diaplikasikan pada peluru *frangible*.

kata kunci : peluru *frangible*, *ball mill*, Serbuk Tembaga, *Vinyl Ester*

***THE EFFECT OF COPPER POWDER COMPOSITION
AND BALL MILLING PROCESS ON MECHANICAL
PROPERTIES AND MORPHOLOGY OF
COPPER/VINYL ESTER COMPOSITE FOR
FRANGIBLE BULLET MATERIAL***

Nama Mahasiswa : Harits Adliarso Nugroho
NRP : 02511440000131
Departemen : Teknik Material ITS
**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta,
S.T.,M.Sc
Dr. Widyastuti S.Si.,M.Si**

ABSTRACT

Frangible bullet is a type of bullet that will rupture when it hits the surface of a material. The main material composing frangible bullet are Cu-Sn. In this study, Sn metal will be replaced by Vinyl Ester in the process of making frangible bullets. The process of making frangible bullet in this study use casting method. The copper powder used will be processed using a ball mill. The composite have 4 variations of copper powder composition, 20%, 30%, 40%, 50%. Cu / VE composite will be tested using hardness test, FTIR test, density test, compression test, and morphology test using SEM. Test results of compressive strength have increased on Cu powder material through ball mill process. The compressive strength has increased by 78%. This increase is quite applicable to frangible bullets.

Keyword : frangible bullet, ball mill, copper powder, vinyl ester

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkah limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul: “ANALISA PENGARUH UKURAN PARTIKEL SERBUK TEMBAGA TERHADAP MATERIAL KOMPOSIT CU/VE SEBAGAI MATERIAL KANDIDAT PELURU *FRANGIBLE*”.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tugas akhir ini tidak akan berjalan dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan dan dorongan dari berbagai pihak penulisan Tugas Akhir ini tidak akan berjalan dengan lancar. Oleh karena itu melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia serta kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan Tugas akhir ini
2. Ayah, Ibu, kakak, dan adik serta keluarga atas doa, dukungan dan pengertian yang telah diberikan selama ini.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng selaku Kepala Departemen Teknik Material.

4. Bapak Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc selaku kepala program studi S1 Departemen Teknik Material.
5. Ibu Rindang Fajarin, S.Si., M.Si. dan Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen wali selama 8 semester ini di Departemen Teknik Material.
6. Bapak Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc dan Ibu Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberi bimbingan dan motivasi pada saya.
7. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang serta seluruh dosen Departemen Teknik Material.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Teman-teman MT 16 yang memberikan dukungan di empat tahun masa kuliah.
10. Dan seluruh elemen pembantu selama proses perkuliahan di Departemen Teknik Material – FTI ITS.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat dibutuhkan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	Ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Komposit.....	5
2.2 Peluru <i>Frangible</i>	15
2.3 Vinyl Ester (VE) Resins.....	18
2.4 Tembaga (Cu).....	21
2.5 Ball Mill.....	23
2.6 Proses Manufaktur Material Komposit.....	26
2.7 Perhitungan Nilai Densitas.....	28
2.8 Penelitian Sebelumnya.....	30
BAB III METODOLOGI	
3.1 Bahan Penelitian.....	37
3.2 Alat Penelitian.....	39
3.3 Diagram Alir.....	43
3.4 Rancangan Penelitian.....	45
3.5 Tahapan Penelitian.....	46

3.6	Jadwal Penelitian.....	49
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Preparasi Komposit Tembaga/Vinyl Ester...	51
4.2	Pengujian Kekerasan.....	54
4.3	Pengujian FTIR.....	56
4.4	Pengujian Densitas.....	61
4.5	Pengujian Tekan.....	63
4.6	Morfologi SEM.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....		75
LAMPIRAN.....		79
BIOGRAFI PENULIS		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Komposit (Nayiroh, 2013).....	8
Gambar 2.2	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks (Callister, 2001).....	8
Gambar 2.3	Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Penguat (Nayiroh, 2013).....	10
Gambar 2.4	Parameter Fiber pada Komposit (Callister, 2001).....	12
Gambar 2.5	a. Laminat b. Sandwich Panels (Callister, 2001).....	13
Gambar 2.6	Grafik <i>Stress-Strain</i> Pengujian Tarik Penguat, Matriks, dan Material Komposit (Callister, 2014).....	14
Gambar 2.7	Bagian - Bagian Peluru (Buzzle, 2013)..	15
Gambar 2.8	Skema Terjadinya <i>Ricochet</i> Dengan Keterangan (a) Adalah Sudut Tembakan dan (b) Adalah Sudut <i>Ricochet</i> (Heard, 2008).....	16
Gambar 2.9	Skema Reaksi Proses Sintesis VE Resin (ASTM Handbook Vol 21: Composite)..	20
Gambar 2.10	Proses Ball Mill (Aulton Pharmaceuticals Design and Manufacture of Medicine)..	24
Gambar 2.11	Skema Ball Mill (Aulton Pharmaceuticals Design and Manufacture of Medicine)..	24
Gambar 2.12	Skema Kompresi molding (Callister 2014).....	26
Gambar 2.13	Skema Injection Molding (Callister 2014).....	27
Gambar 2.14	Diagram Skema Ekstruder (Sumber : Callister 2014).....	28
Gambar 2.15	Hasil penelitian dari Bilewicz (2007)	31



	mengenai komposit campuran PP/PC menggunakan metode injection molding.....	
Gambar 2.16	Hasil struktur mikro komposit Cu/ER dengan skala perbesaran 50 μm (Sonoda, 2011).....	32
Gambar 2.17	Hasil FTIR bubuk Cu dari hasil percobaan (Sonoda, 2011).....	33
Gambar 2.18	Hasil pengujian tarik komposit Cu/HDPE (Setman, 2013).....	35
Gambar 2.19	Hasil uji SEM komposit Cu/HDPE (Park, 2016).....	35
Gambar 3.1	Vinyl Ester Ripoxy PT Justus.....	37
Gambar 3.2	Katalis (a) Promotor (b) untuk VE.....	38
Gambar 3.3	Serbuk Tembaga.....	38
Gambar 3.4	Mesin SEM.....	39
Gambar 3.5	Mesin FTIR.....	40
Gambar 3.6	Alat Durometer Shore D Hardness Test.....	40
Gambar 3.7	Universal Testing Machine.....	41
Gambar 3.8	Neraca Digital.....	41
Gambar 3.9	Diagram Alir.....	44
Gambar 4.1	Material Vinyl Ester dan Serbuk Tembaga.....	51
Gambar 4.2	Proses (a) Pencampuran dan (b) Curing.....	51
Gambar 4.3	Sifat Kekerasan Komposit Cu/VE.....	56
Gambar 4.4	FTIR Material (a)pure VE, (b)komposit Cu/VE, (c)komposit Cu(bm)/VE.....	57
Gambar 4.5	Perubahan Peak FTIR (a) pure VE (b) Cu/VE (c) Cu(bm)/VE.....	61
Gambar 4.6	Densitas Komposit Cu/VE.....	63
Gambar 4.7	Porositas pada komposit Cu/VE.....	64
Gambar 4.8	Spesimen Uji Tekan (a) sebelum	



	pengujian (b) setelah pengujian.....	65
Gambar 4.9	Kekuatan tekan Komposit Cu/VE.....	66
Gambar 4.10	Sifat Mekanik Komposit Cu/VE.....	68
Gambar 4.11	Sifat Mekanik Komposit Cu(bm)/VE...	68
Gambar 4.12	Morfologi komposit Cu(40%)/VE (a) surface (b) cross-section.....	69
Gambar 4.13	Morfologi komposit Cu(40%bm)/VE (a) surface (b) cross-section.....	69
Gambar 4.14	EDX komposit Cu(40%)/VE Surface...	70
Gambar 4.15	EDX komposit Cu(40%)/VE Cross Section.....	70



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Peluru <i>Frangible</i>	17
Tabel 2.2	Sifat Mekanik <i>Unreinforced</i> Resin Vinyl Ester.....	21
Tabel 2.3	Sifat Mekanik Tembaga (Cu).....	23
Tabel 2.4	Klasifikasi Ball Mill.....	25
Tabel 3.1	Klasifikasi Material Komposit Cu/VE.....	35
Tabel 3.2	Rancangan Pengujian Material Komposit Cu/VE.....	46
Tabel 3.3	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	49
Tabel 4.1	Preparasi Komposit Cu/VE.....	52
Tabel 4.2	Komposisi Komposit Cu/VE.....	53
Tabel 4.3	Sifat Kekerasan Komposit Cu/VE Dengan Proses Ball Mill.....	54
Tabel 4.4	Analisis Uji FTIR.....	58
Tabel 4.5	Densitas Material Komposit Cu/VE.....	62
Tabel 4.6	Nilai Densitas Teoritis Komposit Cu/VE Berdasarkan Perhitungan Rule Of Mixture..	62
Tabel 4.7	Kekuatan Tekan Komposit Cu/Ve.....	65



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material komposit adalah material rekayasa yang dibuat dari pencampuran dua atau lebih material untuk menciptakan sebuah kombinasi sifat material yang baru dan memiliki sifat tertentu. Definisi di atas lebih umum dan dapat meliputi paduan metal, plastic copolymer, bahan tambang dan kayu. Material komposit berpenguat serat berbeda dari material di atas, yang di dalamnya, material pendukungnya berbeda pada tingkat molekuler dan dapat dipisahkan secara mekanika. Dalam bentuk bulk, material pendukung bekerja sama tetapi tetap dalam sifat aslinya. Sifat akhir dari material komposit lebih baik dari pada sifat material pendukungnya (Mazumdar, 2002).

Salah satu pengaplikasian material komposit di bidang militer adalah pembuatan peluru. Peluru konvensional terbuat dari timbal yang dilapisi tembaga. Sedangkan peluru *frangible* dibuat dari komposit matrik logam atau logam paduan meliputi tembaga atau paduannya, timah, nikel, emas, perak, besi, tungsten, kromium, dan paduannya. Peluru *frangible* merupakan solusi untuk meminimalkan risiko *richochet* dan *backsplash* dengan di desain agar dapat terpecah menjadi beberapa bagian ketika membentur baja, beton, tembok, atau permukaan lain yang keras untuk mencegah terjadinya pemantulan. Pengembangan peluru *frangible* tergolong masih baru, hal



ini berangkat dari penggunaan proyektil standar yang digunakan sesuai dengan jarak tembakan dan kebutuhan perlindungan pribadi (Benini, 2001)

Pada penelitian yang sebelumnya tentang pengembangan peluru *frangible* (dewanto, 2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh persen massa polimaida dan temperatur sintering terhadap struktur mikro dan sifat mekanik proyektil komposit tembaga/poliamida-6 didapat bahwa dengan kadar poliamida-6 yang semakin banyak nilai densitas akan semakin turun dan poositas bertambah. Sedangkan untuk kekuatan tekan dan kekerasan mengalami penurunan. Pada penelitian ini pembuatan material dengan metode kompaksi. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Carldson. 2012) metode yang digunakan untuk pembuatan proyektil adalah *injection molding* untuk menggabungkan material Cu dan Sn. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Park,dkk,2016) dilakukan untuk membandingkan sifat thermal dan sifat mekanik dari MWCNT/polimer dan Cu/polimer dari percobaan diketahui Cu diperkuat HDPE dengan kenaikan kadar Cu dengan hasil rasio konduktifitas thermal lebih tinggi sejalan dengan sifat mekanik yang dimiliki dibuktikan dengan pengujian tarik yang telah dilakukan.

Pada penelitian tentang morfologi tembaga (Cu) yang dipengaruhi oleh *ball milling* diketahui bahwa vakansi akan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu penggilingan (*milling time*), dengan berkurangnya vakansi maka nilai densitas akan bertambah. Selain itu, dengan

Bab I Pendahuluan



meningkatkan waktu *milling*, kekerasan dari tembaga juga akan meningkat (Setman, 2013).

Maka, penelitian ini akan menganalisa prototipe proyektil *frangible* dengan bahan baku komposit matriks *vinyl ester* dengan *reinforce* serbuk tembaga (Cu). Variabel dalam penelitian ini adalah komposisi dan ball milling serbuk tembaga (Cu). Respon yang diamati dalam penelitian ini adalah sifat proyektil, baik sifat mekanik berupa kekuatan tekan, kekerasan, dan modulus elastisitas, maupun mikrostruktur proyektil untuk melihat dan menganalisis fasa yang muncul.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh komposisi serbuk tembaga terhadap sifat mekanik dan morfologi komposit tembaga(Cu)/vinyl ester(VE) sebagai material proyektil peluru *frangible*?
2. Bagaimana pengaruh proses ball mill serbuk tembaga terhadap sifat mekanik dan morfologi komposit komposit tembaga(Cu)/vinyl ester(VE) sebagai material proyektil *frangible*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Pengaruh impuritas saat pencampuran diabaikan.

Bab I Pendahuluan



2. Temperatur selama proses pencampuran diabaikan.
3. Lingkungan dianggap tidak berpengaruh.
4. Distribusi dianggap homogeny.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh komposisi serbuk tembaga terhadap peningkatan sifat mekanik dan morfologi komposit tembaga(Cu)/vinyl ester(VE) sebagai material proyektil peluru *frangible*.
2. Menganalisis pengaruh proses ball mill serbuk tembaga terhadap peningkatan sifat mekanik dan morfologi komposit komposit tembaga(Cu)/vinyl ester(VE) sebagai material proyektil *frangible*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi dan menghasilkan sifat peluru *frangible* optimal dari bahan baku komposit logam polimer. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lainnya, terutama dpengembangan peluru *frangible* dengan biaya produksi rendah namun dengan sifat unggul sehingga dapat memajukan industri persenjataan nasional



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Komposit

Material Komposit dapat didefinisikan sebagai perpaduan antara dua material atau lebih untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari material penyusunnya ketika berdiri sendiri. Lain halnya dengan paduan logam, material penyusun pada komposit ini tetap mempertahankan masing-masing sifat kimiawi, fisik, maupun mekaniknya satu sama lain (Campbell, 2010).

Material komposit merupakan bahan gabungan secara makro yang didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda dalam bentuk dan atau komposisi material yang tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984).

Dengan Penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut diantaranya adalah (Sulistijono, 2013):

- Konduktivitas Termal
- Ketahanan Fatik
- Kekuatan
- Tampilan
- Kekakuan
- Ketahanan Korosi
- Ketahanan Gesek



- Insulasi Listrik
- Berat
- Insulasi Panas

Keuntungan utama dari material komposit yaitu kekuatan dan kekakuan yang tinggi, digabungkan dengan densitas yang rendah jika dibandingkan dengan bulk material, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan material yang lebih ringan (Campbell, 2010).

Material komposit terdiri dari dua penyusun utama yaitu matriks dan filler:

1. Matriks

Matriks adalah fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat secara bersamaan. Karakteristik yang dimiliki matriks umumnya adalah ulet, serta memiliki kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah dibanding reinforcednya (Sulistijono, 2013). Matriks ini juga mempunyai fungsi yaitu (Harris, 1999):

- a. Matriks mengikat fibre, menjaga agar tetap sejajar dengan arah tegangan. Beban yang diberikan terhadap komposit akan didistribusikan ke fibres, memungkinkan komposit untuk menerima compression, flexural, maupun shear force. Kemampuan komposit untuk menerima berbagai beban tergantung pada matriks sebagai media pentransfer beban, dan juga efisiensi dari transfer



beban juga berkaitan dengan kualitas dari ikatan antara matriks dan fibres.

- b. Matriks melindungi reinforcing filaments dari kerusakan mekanik, misalnya abrasi dan juga dari kondisi lingkungan lingkungan (Nayiroh, 2013).
- c. Matriks menyumbang beberapa sifat seperti kekakuan, ketangguhan dan tahanan listrik (Nayiroh, 2013).

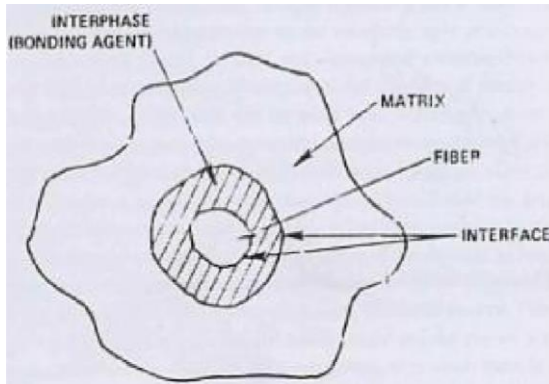
2. Reinforced

Reinforced adalah penguat yang ditempatkan di dalam matriks pada komposit dan harus memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dari matriksnya. Penguat tidak selalu berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit dan memberikan efek penguatan, tetapi juga digunakan untuk mengubah sifat-sifat fisik seperti sifat tahan aus, koefisien friksi atau konduktivitas termal. Serat-serat penguat dapat dapat dibuat dari logam, keramik, dan polimer yang diubah menjadi serat yang disebut kevlar atau serat grafit yang disebut dengan serat karbon. Serat yang ditanam dalam matriks akan meningkatkan modulus matriks. Ikatan yang kuat sepanjang serat memberikan modulus yang sangat tinggi (Sulistijono, 2013).

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya; Matriks, sebagai penyusun dengan fraksi volume terbesar, Reinforced, sebagai penahan beban utama, Interphase, sebagai pelekatan antar dua penyusun,



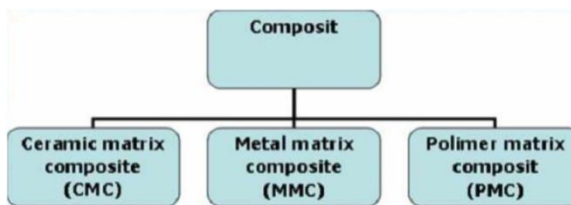
dan interface, sebagai permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur Komposit (Nayiroh, 2013).

Klasifikasi Komposit

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dapat diklasifikasikan seperti Gambar 2. 2 berikut (Callister, 2001):



Gambar 2. 2 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Matriks (Callister, 2001)

- a. *Polymer Matrix Composite (PMC)*



Komposit jenis ini menggunakan polimer sebagai matriksnya, dengan fibres sebagai reinforcednya

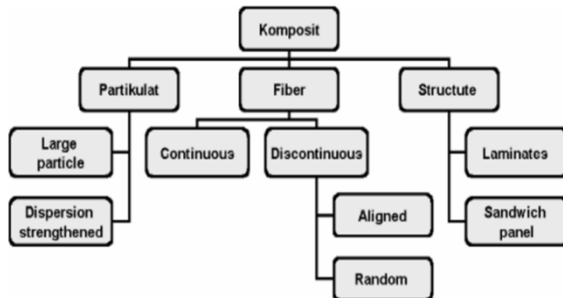
b. *Metal Matrix Composite (MMC)*

Komposit jenis ini menggunakan logam yang ulet sebagai matriksnya. Material ini dimanfaatkan pada temperatur yang lebih tinggi. Beberapa keunggulannya dibanding PMC yaitu temperatur operasinya yang lebih tinggi, nonflammable, dan juga lebih tahan akan degradasi oleh fluida organik.

c. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*

Komposit jenis ini menggunakan keramik sebagai matriksnya. Secara inheren tahan terhadap oksidasi dan juga kerusakan pada temperatur tinggi. Jenis komposit ini sangat cocok untuk digunakan pada temperatur tinggi dan juga untuk aplikasi yang mengalami severe-stress, seperti komponen mobil dan juga turbin gas.

Selain itu, komposit juga dapat dibedakan berdasarkan jenis penguatnya pada Gambar 2. 3 sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Klasifikasi Komposit Berdasarkan Jenis Penguat (Nayiroh, 2013)

a. *Particulate Composite*

Menggunakan penguat berbentuk partikel. Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel. Beberapa jenis partikel dapat dibagi menjadi seperti di bawah ini:

i. Partikulat

Aspek rasio panjang terhadap diameter kurang dari 5 mikrometer.

ii. Dispersoidal

Sama seperti partikulat, bahkan diameter kurang dari 1 mikrometer.

iii. Platelet

Berbentuk plat dengan rasio diameter terhadap ketebalan lebih besar dari 2 mikrometer.



iv. Fiber pendek (Mat)

Berbentuk silinder dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 5 mikrometer.

v. *Whiskers*

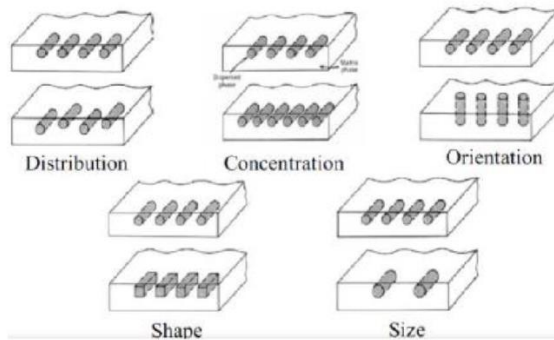
Berupa kristal tunggal yang memanjang, dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 10 mikrometer (Sulistijono, 2013).

b. *Fiber Composite*

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Adapun parameter serat pada komposit, yaitu:

1. Distribusi
2. Konsentrasi
3. Orientasi
4. Bentuk
5. Ukuran

Parameter serat pada komposit dapat digambarkan seperti Gambar 2. 4 sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Parameter Fiber pada Komposit (Callister, 2001)

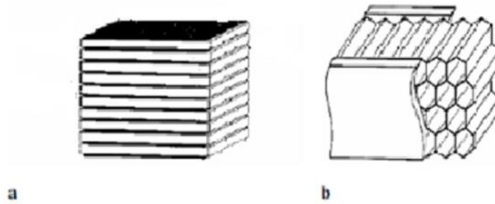
c. *Struktur Composite*

Komposit jenis ini biasanya terdiri dari material homogen, dimana sifatnya tak hanya bergantung pada konstituen materianya saja, namun juga bergantung pada desain geometrinya dari struktur elemen. Jenis ini dapat dibagi lagi menjadi:

i. *Laminar Composite*

Terdiri dari two-dimensional sheet yang memiliki arah high-strength seperti yang ditemukan pada kayu. Lapisan ditumpuk dan kemudian ditempel secara bersamaan sehingga orientasi arah high-strength nya bervariasi.

ii. *Sandwich Panels*

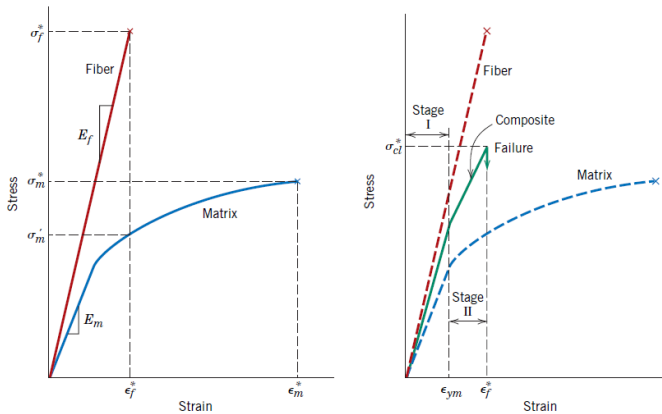


Gambar 2. 5 a. Laminates b. Sandwich Panels (Callister, 2001)

Pada Gambar 2. 5 sandwich panels terdiri dari dua lembar luar yang kuat, atau wajah, dipisahkan oleh lapisan bahan yang kurang padat, atau inti, yang memiliki kekakuan yang lebih rendah dan kekuatan yang lebih rendah. Bagian wajah menanggung sebagian besar in-plane loading, dan juga bending stress yang melintang (Callister, 2001).

Sifat Komposit

Respons mekanik dari komposit berdasarkan beberapa faktor, termasuk sifat stress strain dari fasa matriks dan fiber, fraksi volume fasa, dan arah tegangan atau beban yang diberikan (Callister, 2014).



Gambar 2. 6 Grafik *Stress-Strain* Pengujian Tarik Penguat, Matriks, dan Material Komposit (Callister, 2014)

Gambar diatas menunjukkan mengenai kurva tegangan-regangan dari penguat yang getas dan matriks yang ulet. *Fracture stress* pada kurva tersebut di tunjukkan dengan tanda x pada akhir kurva. Plastik maupun elastomer secara signifikan mulai diperkuat dengan beberapa material partikel. Penggunaan karet modern sudah sering menggunakan material penguat salah satunya yakni *carbon black*. *carbbon black* ukurannya sangat kecil. Ketika ditambahkan dalam proses vulkanisasi ban pada material tersebut meningkatkan kekuatan tarik, ketangguhan, dan ketahanan aus dan juga abrasi. Namun partikel tersebut sangat kecil dengan ukuran 20-50 nm (Callister, 2014).

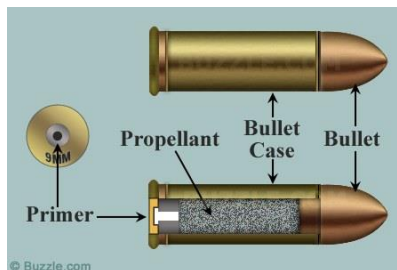
Matriks thermoplastik meskipun dapat dilakukan pelelehan dan proses yang berkali kali namun dapat



diketahui bahwa *thermal exposure* atau kenaikan termal yang sangat tinggi melebihi batas waktu yang diberikan dapat mendegradasi polimer salah satunya adalah kemampuan impak dari material tersebut.

2.2. Peluru *Frangible*

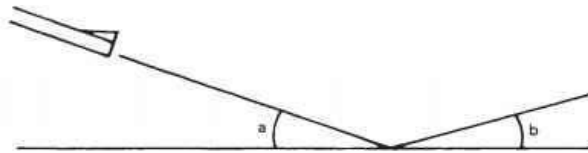
Peluru memiliki beberapa bagian dalam penggunaannya yaitu proyektil (*bullet*), kelongsong (*bullet case*), mesiu (*propellant*), dan pemantik (*rim/primer*). proyektil merupakan bagian dari peluru yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan dorongan sendiri. berat proyektil berpengaruh pada kecepatan peluru menuju target. Bentuk dan ukuran kelongsong juga menentukan kekuatan peluru untuk terdorong ke depan. Semakin besar ukuran kelongsong maka dapat semakin banyak menyimpan mesiu sehingga menghasilkan ledakan yang lebih kuat (Kelter, 2011).



Gambar 2. 7 Bagian - Bagian Peluru (Sumber : buzzle, 2013)



Peluru *frangible* adalah peluru yang di desain untuk hancur menjadi bagian yang kecil. Peluru *frangible* digunakan untuk meminimalisir adanya kecelakaan akibat adanya pantulan peluru/ ricochet (Mates, 2006). *Ricochet* mempunyai potensi yang sangat berbahaya apabila peluru yang terpantul masih memiliki massa yang cukup besar. Massa yang cukup besar ditambah dengan kecepatan yang tersisa pada pantulan peluru akan menimbulkan energikinetik yang cukup besar. *Ricochet* memiliki kemungkinan arah pantulan peluru yang beragam, memantul kembali serong ke atas hingga sampai kembali ke arah penembak atau bisa disebut “*splashback*”. Dengan penggunaan peluru *frangible* maka kemungkinan untuk terjadi *ricochet* atau *splashback* dapat diminimalisir dengan hancurnya peluru menjadi bagian-bagian yang kecil (Mullins, 2001)



Gambar 2. 8 Skema Terjadinya *Ricochet* Dengan Keterangan (a) Adalah Sudut Tembakan dan (b) Adalah Sudut *Ricochet* (Heard, 2008)

Peluru *frangible* dibuat dari kompoosit matriks logam dengan bahan logamatau paduan logam berupa tembaga, besi, nikel, emas, perak, rimbal, krom, dan paduan mereka, namun sangat disarankan untuk memakai tembaga



atau paduan tembaga. Karakteristik peluru *frangible* ditunjukkan dengan table dibawah :

Tabel 2. 1 Karakteristik Peluru Frangible

No	Karakteristik	Nilai	Sumber
1	Massa Jenis	-1,75 g/cm ³ – 8,25 g/cm ³ 7,1 g/cm ³ – 8,5 g/cm ³ (uji tembak)	Hansen (2008)
2	Kekuatan tarik	24,1 MPa – 37, 92 MPa	West & Mullins (1995)
3	Kekerasan Permukaan	54 HV – 119 HV	Kruachatturat, dkk (2009)

(Sumber : Heard, 2008)

Bahan tidak beracun dari seluruh logam yang digunakan sebagai pengganti peluru telah dikembangkan oleh Departemen Energi *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL). Teknik metalurgi serbuk dapat digunakan untuk menghasilkan *metal-matrix composite* yang memiliki sifat yang mirip dengan timbal. Sifat dari bahan non timbal dapat dikendalikan sehingga fragmen peluru menjadi partikel-partikel kecil ketika menyentuh target keras, tetapi tetap utuh ketika menyentuh target yang lunak. Selain itu, kepadatan material dapat di variasikan sehingga memungkinkan untuk pengembangan desain baru dan perbaikan kinerja balistik (Mikko, 2000)



Pada penelitian yang sebelumnya tentang pengembangan peluru *frangible* (Dewanto, 2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh persen massa polimaida dan temperatur sintering terhadap struktur mikro dan sifat mekanik proyektil komposit tembaga/poliamida-6 didapat bahwa dengan kadar poliamida-6 yang semakin banyak nilai densitas akan semakin turun dan poositas bertambah. Sedangkan untuk kekuatan tekan dan kekerasan mengalami penurunan. Pada penelitian ini pembuatan material dengan metode kompaksi. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Carldson, 2012) metode yang digunakan untuk pembuatan proyektil adalah *injection molding* untuk menggabungkan material Cu dan Sn. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Park dkk, 2016) dilakukan untuk membandingkan sifat thermal dan sifat mekanik dari MWCNT/polimer dan Cu/polimer dari percobaan diketahui Cu diperkuat HDPE dengan kenaikan kadar Cu dengan hasil rasio konduktifitas thermal lebih tinggi sejalan dengan sifat mekanik yang dimiliki dibuktikan dengan pengujian tarik yang telah dilakukan.

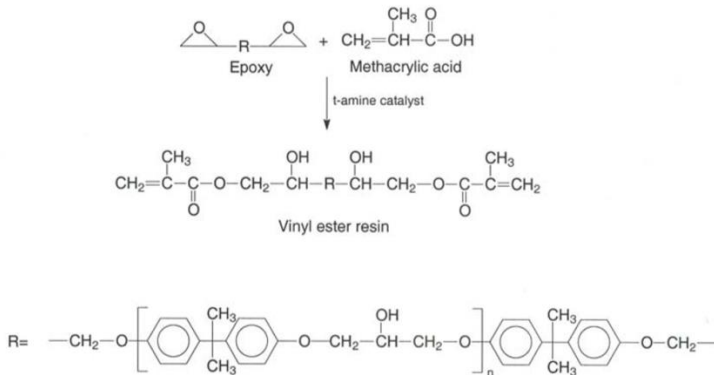
2.3. Vinyl Ester (VE) Resins

Resin vinylester (VE) dibuat dengan reaksi penambahan resin epoksi (difungsional atau multifungsi) dengan asam karboksilat tidak jenuh seperti asam akrilat atau asam metakrilat. Bentuk paling sederhana dari VE adalah hasil reaksi antara satu mol diglycidyl ether BPA dan 2 mol asam methacrylic (Gambar 2.6). Reaksi dilakukan pada suhu sekitar 100 ° C dengan menggunakan katalis



seperti trifenil fosfin. Untuk menghentikan polimerisasi asam methacrylic, inhibitor seperti hydroquinone digunakan. Dengan mengubah sifat dasar resin epoksi, berbagai jenis resin VE dapat diproduksi. Prapolimer vinyl-end kemudian dilarutkan dalam stirena untuk menghasilkan resin yang dapat dipolimerisasi yang serupa dengan resin poliester tak jenuh. Isi stirena disesuaikan untuk memberikan berbagai viskositas, biasanya 0,1-4 Pa-s.

VE resin menunjukkan sifat mekanik yang diinginkan seperti epoksi dan sekaligus menawarkan kemampuan proses seperti resin poliester. Seperti resin UPE, resin VE dikuring dengan menggunakan inisiator radikal bebas yang dikombinasikan dengan akselerator. Suhu kamar yang paling umum digunakan saat kuring sistem resin VE terdiri dari MEKP (1-2% berat) dan kobalt napthenate (0,2-0,4%). Sistem BPO dan dimetil anilin digunakan untuk mencapai ketahanan korosi yang lebih baik. Sistem BPO membutuhkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan MEKP. Jadi, tergantung pada sistem inisiator, kondisi kuring dan waktu gel yang berbeda akan sangat bervariasi. Analisis reaksi pengawetan menunjukkan bahwa laju fraksional awal konversi stirena dari ikatan rangkap dimetakrilat lebih besar daripada ikatan rangkap stirena. Namun, laju fraksional konversi stirena meningkat seiring waktu dan melebihi tingkat konversi fraksional dimetakril pada akhir reaksi. Homogenasi Polimerisasi stirena berlanjut setelah reaksi dimetakrilat berakhir. Konversi stirena selalu lebih besar dari pada dimetakrilat.



**Gambar 2. 9 Skema Reaksi Proses Sintesis VE Resin
(Sumber : ASTM Handbook Vol 21: Composite)**

Resin VE menawarkan ketahanan korosi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan resin UPE pada umumnya. Resistansi korosi yang lebih baik berasal dari sejumlah besar atom antara gugus ester, konsentrasi rendah dari gugus ester, dan hambatan sterik yang ditawarkan oleh kelompok metil metakrilat asam metakrilat (Ratna, 2009).

Sifat Resin Vinyl Ester

Tidak seperti resin UPE, unsaturation hanya terjadi pada ujung resin VE sehingga menghasilkan lebih sedikit crosslink dibandingkan dengan jaringan resin UPE. Karena hubungan silang dan eter yang lebih sedikit dalam struktur, jaringan resin VE menunjukkan fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan resin UPE. Selama reaksi resin epoksi dengan asam karboksilat, beberapa gugus hidroksil terbentuk di sepanjang rantai VE. Kelompok hidroksil ini



memungkinkan ikatan H terbentuk dengan kelompok serupa yang ada dalam serat kaca. Itulah sebabnya resin VE menawarkan adhesi yang lebih baik dengan glass fi bres atau substrat polar lainnya dibandingkan dengan resin UPE. Namun, adhesi semacam itu terjadi lebih banyak pada resin epoksi karena lebih banyak gugus hidroksil.

Resin VE menawarkan ketahanan korosi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan resin UPE. Resistansi korosi yang lebih baik berasal dari sejumlah besar atom antara gugus ester, konsentrasi rendah dari gugus ester, dan hambatan sterik yang ditawarkan oleh kelompok metil metakrilat asam metakrilat (Ratna, 2009).

Sifat Mekanik dari Vinyl Ester

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik *unreinforce* resin Vinyl Ester

Barcol Hardness	35
Tensile Strength (MPa)	80
Tensile Modulus (GPa)	3.59
Elongation (%)	4.0
Flecural Strength (MPa)	140
Flexural Modulus (GPa)	3.72
Compressive Strength (MPa)	-
Heat-deflection Temperature (°C)	100

(Sumber ASTM Handbook Vol 21: Composite)

2.4. Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam dengan struktur kristal *face centered cubic* (FCC) berwarna kemerahan, memiliki



konduktivitas thermal dan listrik yang sangat bagus, ketahanan korosi yang bagus, mudah untuk di fabrikasi, kekuatan dan ketahanan lelah yang bagus, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai matriks maupun filler (ASM Metal Handbook Vol.2). Tembaga secara umum adalah logam yang tidak magnetik. Penggunaan tembaga murni tidak begitu familiar dengan kekuatan yang tinggi, karena tembaga murni biasanya bersifat lunak namun memiliki konduktivitas listrik yang sangat bagus. Sehingga digunakan untuk kabel, kontak elektrik, maupun alat-alat yang berhubungan dengan listrik (Li, 2012).

Penggunaan paduan tembaga yang digunakan saat ini antara lain perunggu (bronze), kuningan (brass), paduan tembaga-timah-seng. Paduan-paduan tersebut dapat digunakan untuk pembuatan senjata dan meriam yang tangguh, yang dikenal dengan istilah *gun metal*. Tembaga dengan *densitas* $8,96 \text{ g/cm}^3$ dapat digunakan untuk penggunaan material aplikatif pengganti timbal pada peluru *frangible* dengan jarak tertentu (Nadkarni, 2003). Sifat fisik dan mekanik tembaga diperlihatkan pada tabel 2.3



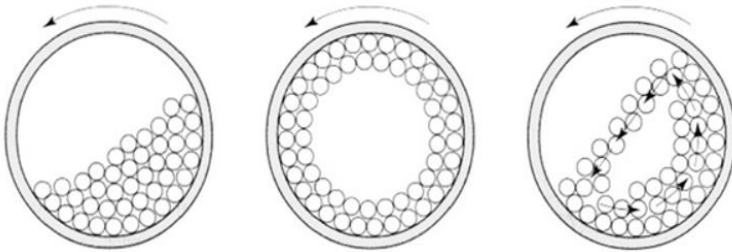
Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Tembaga (Cu)

No	Sifat Tembaga	Nilai
1	Nomor atom	29
2	Massa Atom (g/mol)	63,54
3	Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	1083
4	Densitas (g/cm^3)	8,95
5	Konduktivitas Thermal (Wm/K)	391
6	Modulus Elastisitas (GPa)	117
7	Tensile Strength (MPa)	200
8	Hardness (HRB)	37

(Sumber : Li, 2012)

2.5. Ball Mill

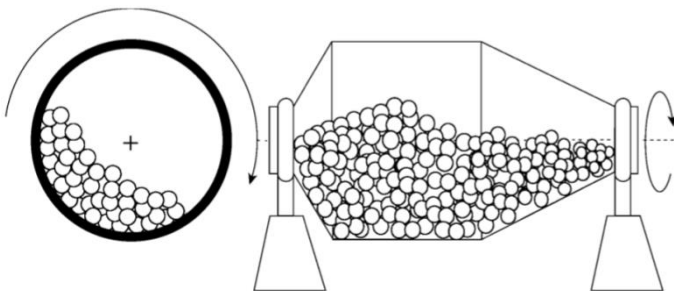
Ball mill merupakan sebuah mesin penggilingan yang terdiri dari sekat silinder yang berisi bola dan dipasang pada logam berbentuk silinder yang dapat diputar pada sumbunya. Bola dengan ukuran diameter yang berbeda biasanya menempati 30 - 50% volume dari silinder dan ukurannya tergantung pada ukuran feed dan mill nya. Bola berukuran besar biasanya digunakan untuk menghancurkan feed yang masih kasar (*coarse feed*) sedangkan bola kecil digunakan untuk feed yang sudah halus (*coarse feed*).



**Gambar 2. 10 Proses Ball Mill (Sumber : Aulton
Pharmaceutics Design and Manufacture of Medicine)**

Tingkat penggilingan pada ball mill dipengaruhi oleh :

- i. waktu penggilingan
- ii. ukuran, densitas, dan jumlah bola
- iii. kemampuan mengikis dari material tersebut (*hardness*)
- iv. kecepatan putaran silinder



**Gambar 2. 11 Skema Ball Mill (Sumber : Aulton
Pharmaceutics Design and Manufacture of Medicine)**



Ball Mill juga dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran dari produk yang akan dibuat, pada Tabel 4.2 adalah klasifikasi untuk pemilihan ukuran feed yang digunakan :

Tabel 2. 4 Klasifikasi Ball Mill

Range ukuran produk	Metode yang digunakan
1-0.1 m	Coarse crushing
0.1 m	Crushing
1 cm	Fine crushing, Coarse grinding
1mm	Intermediate grinding, milling
100 µm	Fine grinding
10 µm	Ultra fine grinding

(Sumber : Rhodes, 2008)

Kecepatan ball mill dipengaruhi oleh diameter dan gaya sentrifugal yang mempengaruhi partikel material didalamnya. Kecepatan ball-mill sebaiknya dipertahankan pada 60-85% dari kecepatan kritisnya. Berikut adalah perhitungan kritis speed pada ball mill:

$$N_c = 42.3 / \sqrt{(D - d)}$$

N_c = Kecepatan kritis dari ball mill (Rpm)

D = Diameter mill

d = Diameter bola terbesar

(Sumber : Rhodes 2008)

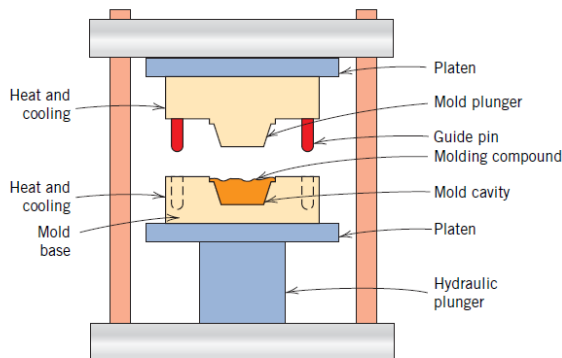
2.6. Proses Manufaktur Material Komposit



Molding adalah metode yang paling banyak digunakan dalam pembentukan material komposit berbasis termoplastik. Berikut merupakan beberapa metode manufaktur material komposit yang biasa digunakan.

Compression Molding

Metode ini memanfaatkan tekanan untuk pembuatan material komposit. Cetakan ditutup kemudian diberikan panas dan tekanan yang menyebabkan material melunak serta mengalir menyesuaikan dengan bentuk cetakan. Secara umum *compression molding* ditunjukkan oleh gambar.



Gambar 2. 12 Skema Kompression molding (Sumber : Callister 2014)

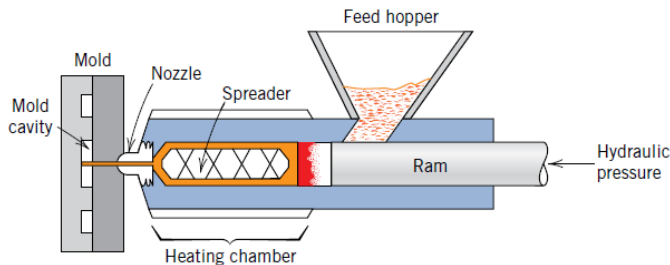
Sebelum pembentukan, *raw Material* harus di *mixing* dan dilakukan *pre heating* untuk mengurangi waktu *molding* dan tekanan yang digunakan, sehingga mampu menekan waktu pengerjaan serta meningkatkan jumlah yang



dihasilkan. Selain itu *transfer molding* adalah salah satu modifikasi dari *compression molding*. Pada *transfer molding*, *raw material* dilelehkan dalam *heating chamber*, setelah material meleleh kemudian diinjeksikan ke dalam cetakan dengan menggunakan tekanan tertentu (Callister, 2014).

Injection Molding

Injeksi adalah metode yang paling banyak digunakan dalam pembentukan polimer. Gambar menunjukkan skema injeksi.



Gambar 2. 13 Skema Injection Molding (Sumber : Callister 2014)

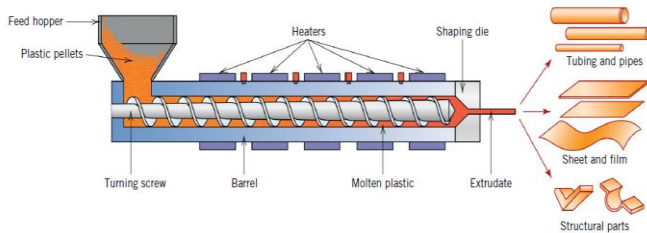
Dalam proses ini pelet dengan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam *hopper* yang kemudian akan dipindahkan ke dalam silinder pemanas secara bertahap. Lelehan material dalam silinder kemudian diinjeksikan ke dalam rongga cetakan melalui *nozzle* sehingga memenuhi dan menyesuaikan dengan rongga cetakan. Proses ini dapat



menghasilkan banyak produk dengan bentuk rumit (Callister, 2014).

Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses pembentukan material komposit yang cukup sederhana. Metode ini biasanya digunakan untuk membuat produk sederhana seperti tabung, lembaran dan film. Secara mekanik ulir dalam silinder menekan, melelehkan serta mendorong material sehingga keluar secara kontinu menjadi bentuk sesuai dengan bentuk *nozzle* (Callister, 2014).



Gambar 2. 14 Diagram Skema Ekstruder (Sumber : Callister 2014)

2.7. Perhitungan Nilai Densitas

Untuk mendukung data eksperimen yang di dapat maka perlu mendapatkan datayang toritis dari komposit, untuk mendapatkan data densitas dari komposit bisa menggunakan *rule of mixture* dengan persamaan sebagai berikut (Callister, 2014) :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \dots \dots \dots (2.1)$$



Dimana :

ρ_c = Densitas komposit

ρ_m = Densitas matriks

ρ_f = Densitas penguat

V_m = Fraksi volume matriks

V_f = Fraksi volume penguat

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

ρ = Densitas

m = massa

v = volume

dengan menggunakan rumus densitas 2.2 maka akan diperoleh fraksi massa dengan rumus berikut ,

$$m_m = a.m_c \text{ dan } m_m = b.m_c \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

m_m = massa matriks

m_f = massa fiber

m_c = massa komposit

a = fraksi massa matriks

b = fraksi massa penguat

data teoritis dari massa setiap fraksi (matriks atau *reinforced*) dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

a) Massa Matriks



$$m_m =$$

$$a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_m + b \cdot \rho_m} \cdot V_c \dots \dots \dots (2.4)$$

b) Massa Reinforce

$$m_f =$$

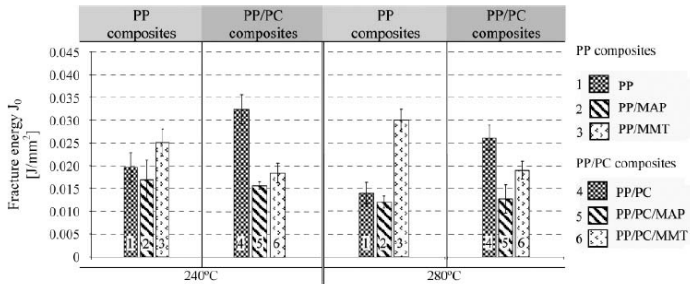
$$a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot V_c \dots \dots \dots (2.$$

5)

2.8. Penelitian Sebelumnya

Beberapa jurnal maupun penelitian sebelumnya telah mempelajari interaksi, karakteristik maupun aplikasi dari material komposit Cu/PC maupun PC yang dipadukan dengan material yang lain dan Cu yang juga dipadukan dengan material yang lain.

M. Bilewicz (2007) melakukan penelitian pada komposit polimer-polimer. Variabel yang digunakan adalah komposisi polipropilen, polikarbonat dan *montmorilloit* (MMT) dengan menggunakan injection molding serta temperatur injeksi 240⁰ C dan 280⁰ C. Berdasarkan hasil pengujian, pc terdistribusi dengan baik dalam matriks. Kenaikan temperatur injeksi menyebabkan turunnya *fracture toughness*. penambahan MMT meningkatkan penguatan sistem, serta menaikkan *fracture toughness*.



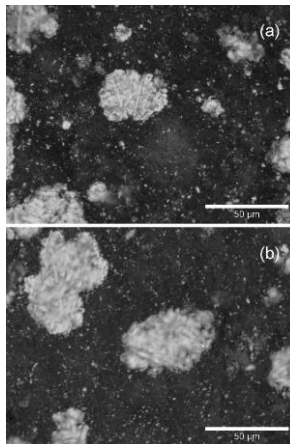
Gambar 2. 15 Hasil penelitian dari Bilewicz (2007) mengenai komposit campuran PP/PC menggunakan metode injection molding

Pada komposisi tersebut pellet polimer di *blend* di dalam *rotative drum* dengan kecepatan 60 rpm pada polimer yang digunakan pada percobaan tersebut yang berperan sebagai matriks adalah PP (*polypropylene*) dan yang berperan sebagai fasa *disperse-particle* adalah (*polycarbonate*)PC. Yang membentuk komposit polimer-polimer (Bilewicz, 2011).

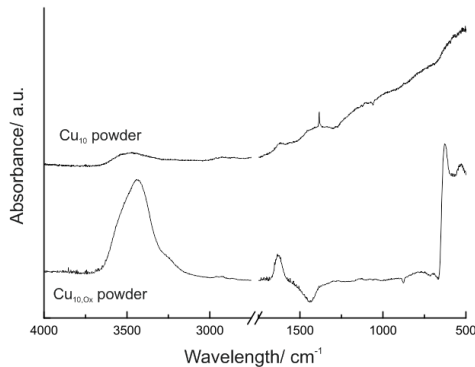
Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Kensaku Sonoda (2011) pada jurnal ini, hal yang diteliti adalah mengenai sifat dielektrik dari komposit bubuk Cu/polimer. Pada penelitian ini komposit termoplastik diukur dengan frekuensi tinggi 1GHz untuk menentukan sifat dielektriknya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *injection molding*. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk tembaga yang sudah disintesis dengan HCl setelah itu polimer yang dipergunakan adalah polipropilena-graft-poly(ER). Pada penelitian ini pencampuran dilakukan dengan menuangkan bubuk Cu dan



pelet ER ke dalam extruder dengan temperatur 200°C dan dilakukan dengan kecepatan 60 rpm. Setelah itu ditunggu selama 20 menit agar homogen. Setelah dimasukkan ke dalam extruder material dimasukkan ke dalam injection molding dengan silinder pada temperatur 230°C dan cetakan temperatur 40-100°C. Dari hasil penelitian yang didapat bahwa



Gambar 2. 16 Hasil struktur mikro komposit Cu/ER dengan skala perbesaran 50 µm (Sumber : Sonoda, 2011)



Gambar 2. 17 Hasil FTIR bubuk Cu dari hasil percobaan (Sumber : Sonoda, 2011)

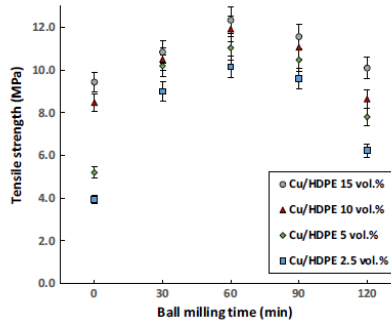
Pada hasil struktur mikro dijelaskan bahwa bulatan kecil tersebut adalah bubuk Cu yang tersebar secara merata dengan ukuran rata-rata 10 μm . meskipun ukuran yang tersebar berbeda beda namun persebaran Cu tersebar secara merata ke berbagai bagian. Dari penelitian ini seiring dengan penambahan Cu maka nilai dielektrik dari komposit semakin bertambah (Sonoda, 2011).

Selain itu dilakukan pengujian FTIR pada bubuk Cu yang telah disintetis dan tidak disintetis. Pada bubuk Cu biasa tidak ada tanda-tanda keberadaan *peak* Cu_2O sehingga pada bubuk ini diyakini tahan korosi. Lalu pada bubuk Cu pada spektrum pada bagian bawah grafik FT-IR diketahui adanya unsur tembaga oksida pada peak 620 cm^{-1} . Peak diantara 3500 cm^{-1} merupakan permukaan yang dapat menyerap air/ permukaan grup *surface hydroxyl*.

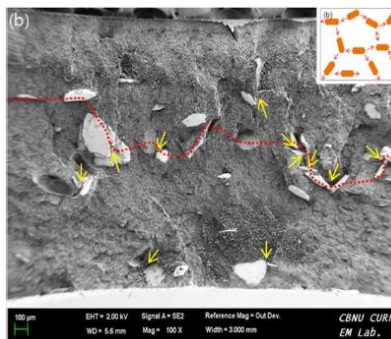


Penelitian oleh George B Davis (2001) mengenai peluru berproyektil fragile dengan jaket. Pada material ini material yang digunakan campuran nylon, powder Cu, powder W (dapat menggunakan polimer thermoplastik tipe lain, diutamakan poliamida, poliester, dan poliurethane, dengan campuran serbuk logam densitas tinggi lainnya, terutama Zn, Sn, W, Cu) core density 6.0. pada peluru tersebut core pada ujung depan (penumbuk) tanpa jaket, sehingga jaket bisa ikut pecah saat menumbuk target keras akibat *shock transfer* oleh proyektil *frangible*.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Hyeong Jeung Park (2016) mengenai studi eksperimental tentang termal dan sifat mekanik komposit Cu/Polimer disini metode yang digunakan adalah ball mill untuk menghaluskan bubuk Cu selanjutnya untuk metode manufakturnya menggunakan melt blending dengan mencampurkan bubuk Cu dengan HDPE. Dari pengujian ini dihasilkan bahwa HDPE dengan di perkuat Cu meningkatkan rasio konduktivitas thermal hingga 2,7. Sedangkan, selain itu seiring dengan peningkatan kadar Cu maka kekuatan tarik semakin tinggi.



**Gambar 2. 18 Hasil pengujian tarik komposit Cu/HDPE
(Sumber : Setman, 2013)**



**Gambar 2. 19 Hasil uji SEM komposit Cu/HDPE
(Sumber : Park, 2016)**

Pada penelitian yang dilakukan oleh West et.al, 1995 mengenai amunisi *Lead-Free* disini didapatkan peluru frangible dengan paduan Cu dan Sn dengan metode pembuatan metal injection molding. Dengan komposisi kadar Cu 85% hingga 93 % selain itu diketahui bahwa peluru yang dibuat memiliki nilai impak *izod* sebesar 5,7-



14,6 ft-lb/in, kekuatan tarik sebesar 3500-5500 psi, elongation 300-400%, dan *softening point* 160°F

Pada penelitian yang dilakukan Kruachatturat dengan variabel komposisi serbuk Cu-Sn dan temperatur sintering dilakukan pemanasan selama 45 menit dan dilakukan kompaksi. Variabel dengan hasil paling optimal pada perbandingan komposisi serbuk 90:10 persen berat Cu-Sn dengan temperatur sintering 800°C dilaikekuatan tekan 49-214 Mpa, di dalam rentang peluru *frangible* komersial 31-310 Mpa

Selain itu penelitian yang dilakukan Belanger tahun 1993 menjelaskan bahwa peluru *frangible* untuk aplikasi latihan berbahan baku serbuk Cu di atas 90% dengan pengikat Nylon 11. Ukuran serbuk Cu 200 mesh, ukuran serbuk nylon 11, 44 mikron ke bawah. pencampuran dengan metode *injection molding*. Sehingga didapat peluru *frangible* bermasa jenis 5,7 g/cm³. Massa proyektil kaliber 5,56 mm 36 grain dan massa proyektil 9 mm 85 grain,. Densitas 5,7 g/cm³ adalah densitas minimal untuk mendapatkan proyektil dengan sifat balistik terbaik.



BAB III METODOLOGI

3.1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Vinyl Ester

Vinyl Ester salah satu bahan utama untuk matriks pada komposit ini, yaitu berupa cairan kental berwarna kuning. Vinyl ester diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe Ripoxy R-802:

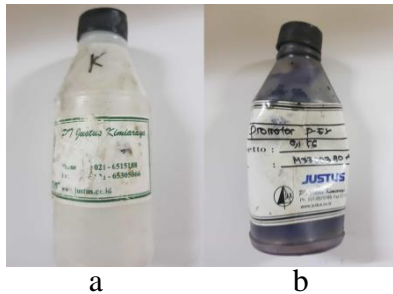
Densitas : 1.046 g/cm^3

Dynamic Viscosity : 370 mPa.s

Kinematic Viscosity : 350 cSt



Gambar 3. 1 Vinyl Ester Ripoxy PT Justus

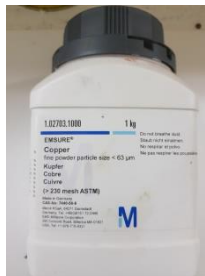


Gambar 3. 2 Katalis (a) Promotor (b) untuk VE

b. Serbuk Cu

Serbuk Cu proanalisis dengan kemurnian 99% produk merk didapatkan dari PT. Sumber Utama Kimia Murni yang berperan sebagai Filler dengan spesifikasi sebagai berikut:

Ar	: 63,55 g/mol
Densitas	: 8,96 g/cm ³
Struktur Kristal	: FCC
Temperatur Melting	: 1084°C
Modulus Young	: 110 GPa
Ukuran serbuk	: < 63 μ m



Gambar 3. 3 Serbuk Tembaga



3.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Mesin Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Mesin Scanning Electrone Microscope (SEM) yang digunakan adalah PHENOM G2 Pro dengan perbesaran 80-45.000 kali. SEM digunakan untuk melihat morfologi dan distribusi matriks dan filler pada material komposit.



Gambar 3. 4 Mesin SEM

b. Mesin uji *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Mesin FTIR yang digunakan adalah *thermo scientific* dengan wavelength 500-4000 cm^{-1} . Digunakan untuk mengetahui rantai maupun gugus yang terdapat dalam material komposit yang menunjukkan keberadaan vinyl ester.



Gambar 3. 5 Mesin FTIR

c. Mesin Uji Kekerasan Hardness

Pengujian Hardness menggunakan durometer, dengan satuan Shore D.



Gambar 3. 6 Alat Durometer Shore D Hardness Test

d. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Mashine UH-500 kN* pada Gambar 3. Dengan kapasitas 10-500 kN. Uji tekan dilakukan sesuai dengan ASTM D695-92 dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tekan dan modulus elastisitas *blend*.



Gambar 3. 7 Universal Testing Machine

e. Neraca Digital

Neraca digital merk Metler Toledo digunakan untuk menimbang massa polikarbonat/polipropilena, Cu serta material komposit serta digunakan dalam proses pengukuran densitas material komposit. Spesifikasi alat yaitu kapasitas maksimum 220g, ketelitian 0,0001 g, berat alat 4,6 kg, dimensi *weighing pan* Ø 90 mm, dan maksimum tinggi benda 237 mm.



Gambar 3. 8 Neraca Digital



f. *Ball Mill*

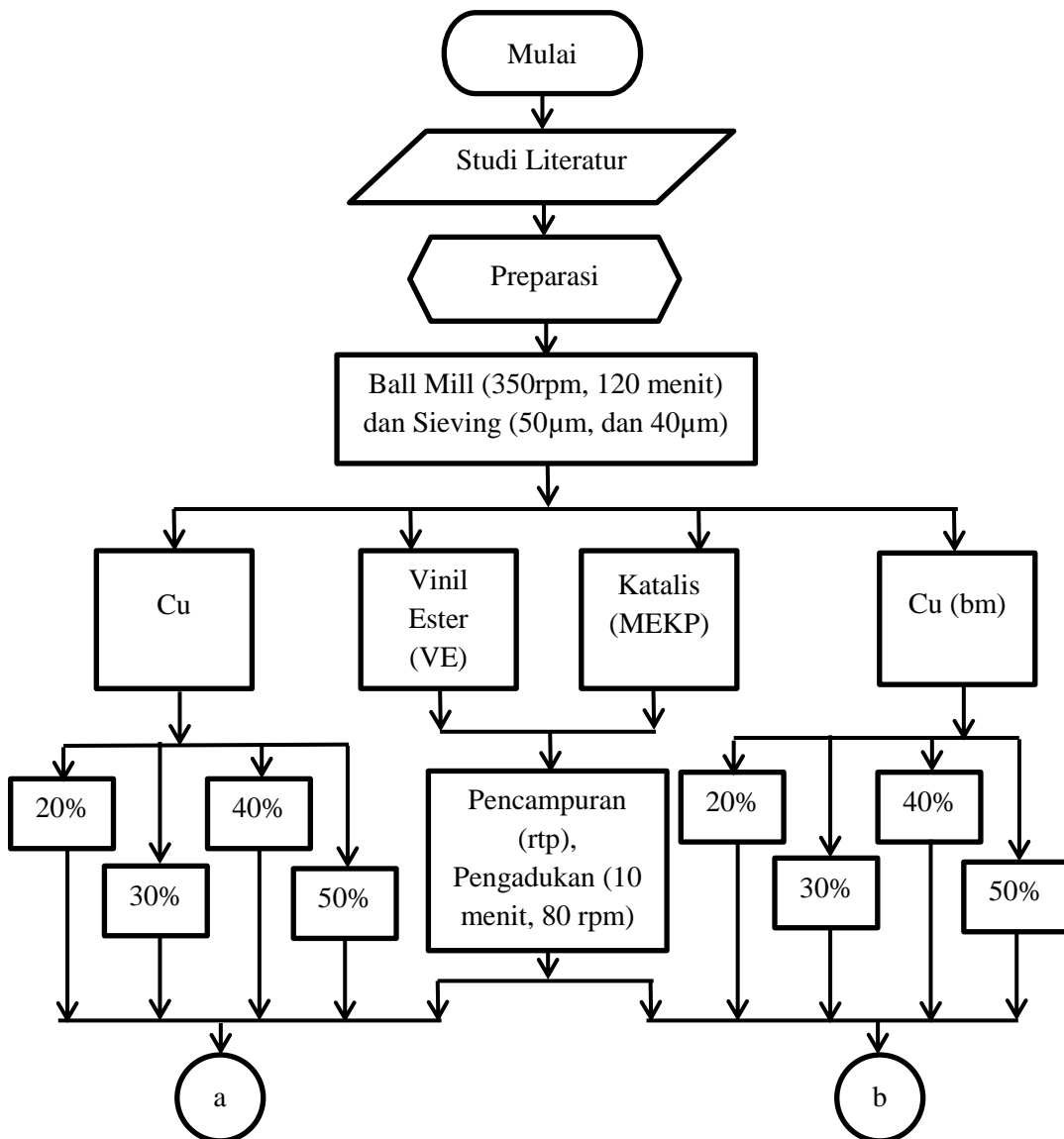
Ball Mill digunakan untuk menngubah morfologi tembaga, menggunakan standar SNI-15-2049-2014 untuk pembuatan semen.

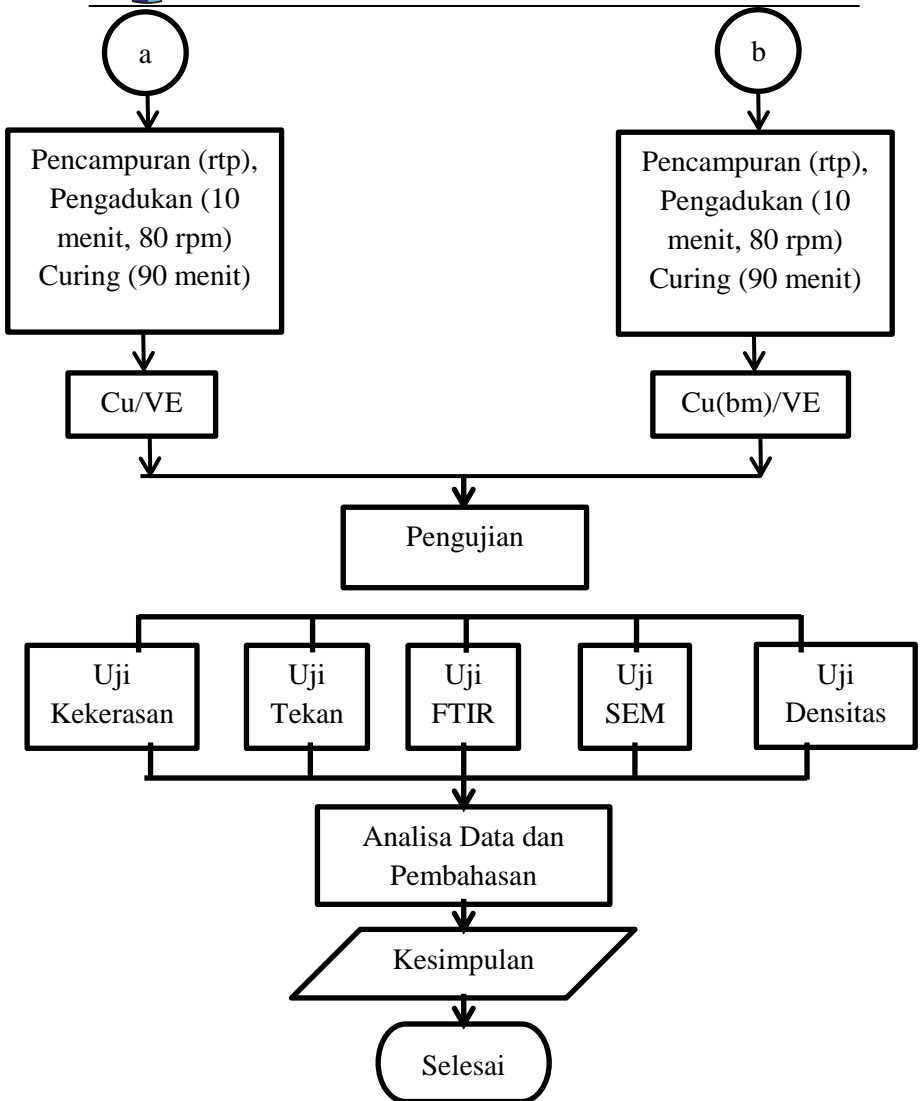
g. *Peralatan Lain*

Peralatan lain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jangka sorong, gergaji, termometer tembak, *beaker glass*, *cutter*, *magnetic stirrer*, *spin bar*, gerinda, toples plastik, sarung tangan, pinset, kuas, dies, spatula, gunting, *Aluminium Foil*, tisu, plastik klip, dan loyang.



3.3. Diagram Alir





Gambar 3. 9 Diagram Alir



3.4. Rancangan penelitian

Pada penelitian ini, wt% Cu yang akan digunakan adalah 90%. (Steven, 2008). Dengan variasi waktu ball mill pada tembaga, maka dibuat rancangan penelitian sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Klasifikasi material komposit Cu/VE

Material	Properti
Cu(20%)/VE	-
Cu(30%)/VE	-
Cu(40%)/VE	-
Cu(50%)/VE	-
Cu(20%bm)/VE	Ball mill
Cu(30%bm)/VE	Ball mill
Cu(40%bm)/VE	Ball mill
Cu(50%bm)/VE	Ball mill



Tabel 3. 2 Rancangan pengujian material komposit Cu/VE

Material	Hasil Pengujian				
	FTIR	SEM	Kekerasan (HV)	Densitas (g/cm ³)	Kuat Tekan (MPa)
Cu(20%)/VE	-	-	√	√	√
Cu(30%)/VE	-	√	√	√	√
Cu(40%)/VE	√	-	√	√	√
Cu(50%)/VE	-	-	√	√	√
Cu(20%bm)/VE	-	-	√	√	√
Cu(30%bm)/VE	-	√	√	√	√
Cu(40%bm)/VE	√	-	√	√	√
Cu(50%bm)/VE	-	-	√	√	√

3.5. Tahapan Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan maka tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Preparasi VE dan Cu

Menghomogenkan serbuk Cu dan Vinyl Ester, kemudian menggiling serbuk Cu dengan Ball Mill dengan variasi 0,2,4,6,8 jam. Dengan rpm 60% dari kecepatan kritisnya. Kemudian menimbang 90% Cu dan 10% VE.

Pembentukan Material Komposit

Pembentukan material komposit menggunakan hand-handling, serbuk Cu dan Vinyl Ester dicampur manual oleh peneliti untuk membentuk komposit yang Cu/VE.

Pengujian

a. Pengujian Kekerasan

Pengujian ini digunakan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel komposit Epoksi/TEA/MAH/Grafit. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - Durometer Hardness. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. Durometer ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indenter seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D.

b. Pengujian Kekuatan Tekan

Menyiapkan specimen uji untuk masing-masing variasi komposisi sesuai ASTM D695-92 seperti pada Gambar 3.6

Melakukan pengujian tekan pada setiap specimen, dengan laju edformasi 1.3 mm/menit. Dilanjutkan menganalisa grafik hasil pengujian guna menghitung nilai kekuatan tekan serta modulus elastisitas.



c. Pengujian Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya menggunakan instrumen Thermo Scientific Nicolet IS10. Pengujian FTIR bertujuan untuk melihat adanya gugus fungsi tertentu yang terbentuk pada spesimen uji. Prinsip dasar pengujian FTIR adalah interaksi energy dengan suatu materi. Saat spesimen uji ditembakkan dengan sinar inframerah, atom-atom dalam spesimen uji akan bergetar atau bervibrasi sebagai akibat energy yang berasal dari sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron. Besar energi vibrasi setiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada kekuatan ikatan yang terdapat pada molekul.

d. Pengujian Densitas

Analisa densitas atau massa jenis dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari komposit UPR/VE/SKKB. Analisa densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D-792 dengan media air. Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa spesimen solid saat di udara terbuka lalu dimasukkan ke dalam cairan yang dalam pengujian kali ini berupa air, massa yang didapat dari pencelupan kemudian dijadikan acuan untuk perhitungan densitas.



e. SEM

Menyiapkan spesimen dari masing-masing variabel dengan dimensi 13 x 3 x 5 mm untuk material komposit hasil injection molding lalu meletakkan spesimen pada *holder*. memasukkan spesimen beserta *holder* kedalam mesin serta mengamati gambar pada komputer dengan perbesaran tertentu melalui monitor. melakukan untuk sampel lain

3.6. Jadwal Penelitian

Kegiatan yang dilakukan pada penelitian sesuai dengan jadwal pada table

Tabel 3. 3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan											
		Feb			Mar			Apr			Mei		
1	Studi Literatur												
2	Persiapan alat dan bahan												
3	Proses injection molding												
4	Pengujian dan pengumpulan data												
5	Analisa data dan												



	pembahasan																		
6	Penarikan kesimpulan																		
7	Asistensi dengan dosen pembimbing																		
8	Penulisan laporan																		

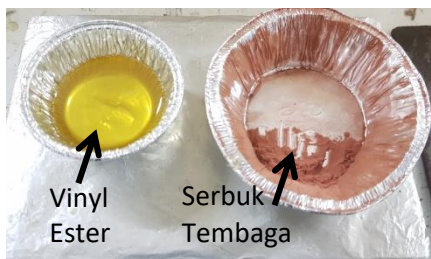


BAB IV

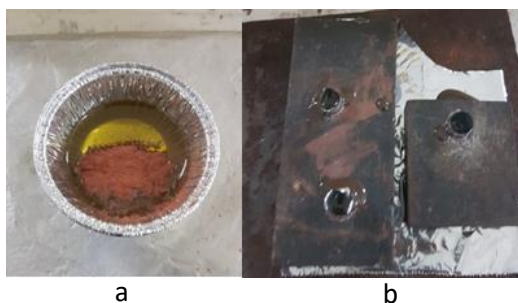
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Komposit Tembaga/Vinyl Ester

Dilakukan tahap pre-eksperimen untuk menentukan komposisi Vinyl Ester dan serbuk Cu untuk mengetahui hasil curing dengan variasi komposisi Vinyl Ester, Katalis, dan Promotor. Hasil dari pre-eksperimen ditampilkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 1 Material Vinyl Ester dan Serbuk Tembaga



Gambar 4. 2 Proses (a) Pencampuran dan (b) Curing



Tabel 4. 1 Preparasi Komposit Cu/VE

Material	Serbuk Cu (%berat)	Komposisi Vinyl Ester (%berat)			Ket
		Vinyl Ester	Katalis	Promotor	
Cu(20%)/VE	20	72	7.2	0.8	Tidak Curing
Cu(20%)/VE	20	72	6.4	1.6	Tidak Curing
Cu(20%)/VE	20	72	4.8	3.2	Tidak Curing
Cu(20%)/VE	20	72	3.2	4.8	Tidak Curing
Cu(20%)/VE	20	72	1.6	6.4	Tidak Curing
Cu(20%)/VE	20	72	0.8	7.2	Tidak Curing
Cu(20%)/VE	20	72	8	0	Curing

Diketahui bahwa komposisi yang menggunakan promotor tidak terjadi curing, maka digunakan komposisi 90% Vinyl Ester, dan 10% Katalis sebagai Matrix dan 20% Serbuk Tembaga sebagai agregat.

Pada penelitian kali ini menggunakan 2 variasi yaitu dengan serbuk Cu dengan proses ball mill dan tanpa proses



ball mill. Serbuk Cu dengan proses ball mill memiliki ukuran partikel yang lebih kecil ($<40\mu$) sedangkan tanpa ball mill memiliki ukuran $40-50\mu$. Hal ini diketahui dengan proses *sieving*. Berikut adalah data pembuatan specimen.

Tabel 4. 2 Komposisi komposit Cu/VE

Material	Serbuk Cu (%berat)	Komposisi Vinyl Ester (%berat)		Ket
		Vinyl Ester	Katalis	
Cu(20%)/VE	20	72	8	Curing
Cu(30%)/VE	30	63	7	Curing
Cu(40%)/VE	40	54	6	Curing
Cu(50%)/VE	50	45	5	Curing
Cu(60%)/VE	60	36	4	Tidak Homogen
Cu(20%bm)/ VE	20	72	8	Curing
Cu(30%bm)/ VE	30	63	7	Curing
Cu(40%bm)/ VE	40	54	6	Curing
Cu(50%bm)/ VE	50	45	5	Curing
Cu(60%bm)/ VE	60	36	4	Tidak Homogen



Pada pencampuran VE dan serbuk Cu, tidak bisa dilakukan jika melebihi dari perbandingan 50:50, karena jumlah agregat dan matrix tidak bisa bercampur secara sempurna.

4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel serbuk Cu pada material komposit Cu/VE.

Tabel 4. 3 Sifat Kekerasan komposit Cu/VE

Material	Serbuk Cu (%-berat)	Hardness (Shore D)
Cu(20%)/VE	20	72.67 ± 3.40
Cu(30%)/VE	30	72.00 ± 0.82
Cu(40%)/VE	40	71.67 ± 1.25
Cu(50%)/VE	50	72.33 ± 0.47
Cu(20%bm)/VE	20	74.33 ± 3.21
Cu(30%bm)/VE	30	73.67 ± 1.53
Cu(40%bm)/VE	40	73.67 ± 0.58
Cu(50%bm)/VE	50	74.33 ± 2.00

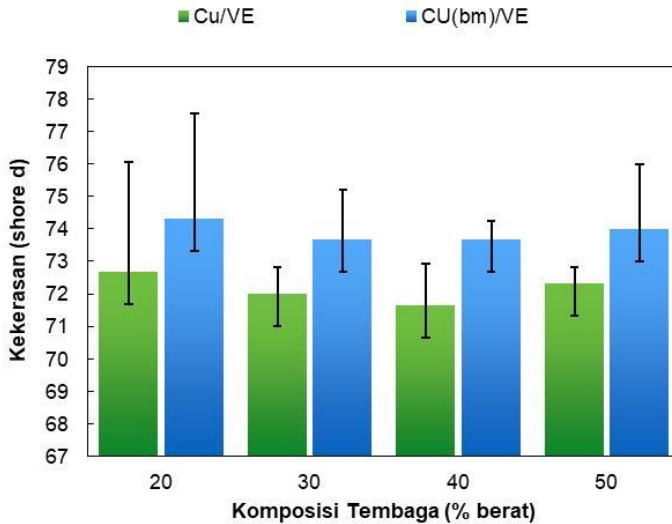
Tabel 4.3 memaparkan hasil uji kekerasan pada masing-masing variasi dan komposisi material komposit



Cu/VE. Indentasi dilakukan pada titik berbeda, yaitu atas, bawah, dan perpotongan.

Nilai kekerasan tertinggi adalah 74.33 shore-d, pada spesimen serbuk Cu yang di ball mill dengan komposisi 20%Cu/80% d. Hasil terendah adalah 72.33 shore-d, dengan komposisi 40%Cu/60% VE, serbuk Cu yang digunakan tanpa proses ball mill.

Nilai kekerasan material komposit Cu/VE pada serbuk Cu melalui proses ball mill memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh ukuran material serbuk Cu yang memiliki ukuran partikel lebih kecil, dengan berkurangnya ukuran partikel, maka porositas yang terbentuk pada saat pembuatan material komposit akan berkurang. Selain itu nilai kekerasan dari serbuk Cu itu sendiri akan meningkat berbanding lurus dengan lamanya waktu milling (D.Setman, 2013)



Gambar 4. 3 Sifat Kekerasan Komposit Cu/VE

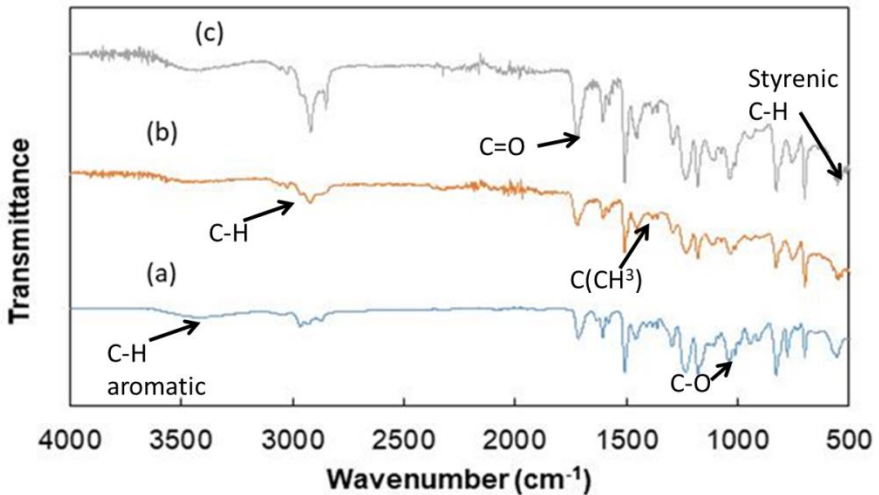
4.3 Pengujian FTIR

Material yang akan diuji FTIR adalah material komposit Cu/VE dengan komposisi 30% Cu. Masing masing sample diuji dan dianalisa FTIR agar dapat menentukan peak dari tiap sample dan mengidentifikasi gugus ikatan yang ada pada sample tersebut.

Berdasarkan Gambar 4.2, pola yang ada pada ketiga sampel tidak jauh berbeda. Diketahui berdasarkan hasil analisis, pada VE terdapat gerakan bergetar (*vibration/stretching*) dan membengkok (*bending*). Pada peak 3451.50 cm^{-1} terdapat gugus fungsi O-H *stretch*. Selanjutnya pada peak 3035.07 cm^{-1} terdapat *aromatic* C-H dengan pola *stretch*. Pada 2871.06 cm^{-1} terdapat C-H dan



CH_2 *asymmetric stretching*, terdapat rantai $\text{C}=\text{C}$ *aromatic ring* pada 1507.22 cm^{-1} dengan pola *in-ring stretching*. Kemudian terjadi bending pada 826.16 cm^{-1} dan 698.43 cm^{-1} keduanya memiliki *styrenic C-H* akan tetapi memiliki bagian *bending* yang berbeda, yaitu *1,4 disubstituted aromatic (epoxy vinyl ester)* dan di *monosubstituted aromatic (styrene)*. (Arieta, 2016)



Gambar 4.4 FTIR Material (a)pure VE, (b)komposit Cu/VE, (c)komposit Cu(bm)/VE



Tabel 4. 4 Analisis Uji FTIR

Wavenumber (cm⁻¹)	Intensity	Function Group	remark/ type of vibration
3451.50	l, broad	O-H	O-H stretch
3035.07	w	aromatic C-H	stretching
2963.86	m	CH ₂	asymmetric stretching
2871.06	m	C-H dan CH ₂	asymmetric stretching
1716.01	l	C=O ester	stretching
1629.88	m	C=C	stretching
1606.36	m	C=C aromatic ring	in-ring stretching
1581.31	m	C=C aromatic ring	in-ring stretching
1507.22	m	C=C aromatic ring	in-ring stretching
1457.02	m	CH ₂ & CH ₃	in-plane bending of CH ₂ (scissoring) + asymmetrical deformation of CH ₃

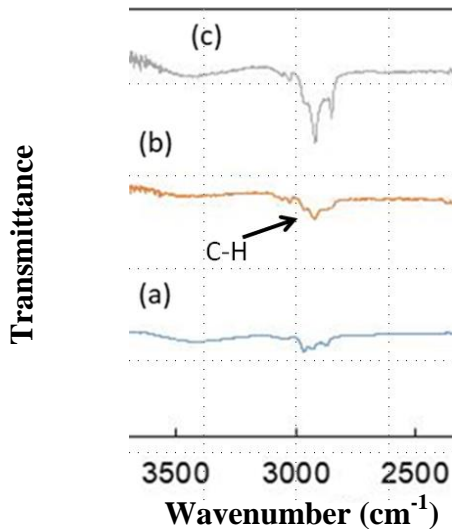


Wavenumber (cm ⁻¹)	Intensity	Function Group	remark/ type of vibration
			(bending)
1411.70			
1382.70	w	C(CH ₃) (C(CH ₃) ₂)	+ bending
1361.51			
1294.30	m	CH-OH	bending
1232.62	l	Ar-O-CH ₂ - ether	stretching
1179.56	m	C-O ester	stretching
1105.67	m	CH-OH CHO-H	+ deformation
1084.66			
1038.90	w	CH-OH CHO-H	+ deformation
1010.72			
991.63	w	=C-H	deformation of C-H in RCH=CH ₂
943.49	m		
908.55			



Wavenumber (cm ⁻¹)	Intensity	Function Group	remark/ type of vibration
826.16	m	styrenic C-H	bending of C-H in 1,4 disubstituted aromatic (epoxy vinyl ester)
776.71			
735.77			
698.43	m	styrenic C-H	bending of C-H in monosubstituted aromatic (styrene)
554.58			

Berdasarkan hasil uji FTIR yang dilakukan, diketahui bahwa matrix yang digunakan adalah Vinyl Ester, serta tidak ada ikatan baru yang terbentuk. Akan tetapi keberadaan serbuk tembaga ditunjukkan dari pergeseran puncak-puncak dari tiap-tiap komposit dan polimer. Terjadi perbedaan yang sangat signifikan pada puncak 2917.84. Dimana pada gambar 4.4 (a) dan (b) puncak sangat cukup landai, sedang pada gambar 4.2 (c) puncak sangat tajam penurunnya.



Gambar 4.5 Perubahan Peak FTIR (a) pure VE (b) Cu/VE (c) Cu(bm)/VE

Pada Gambar 4.5, terjadi perubahan *peak* pada pengujian FTIR, akan tetapi tidak ada perubahan *wavenumber* pada masing-masing material komposit. *Wavenumber* pada pengujian FTIR akan menunjukkan ikatan yang terbentuk atau ada pada material tersebut, paa gambar (a), (b), dan (c) ikatan yang terbentuk adalah C-H *stretching* (Arieta, 2016). Penurunan dan penambahan *peak* ini dipengaruhi oleh penambahan serbuk tembaga, dan menunjukan tidak terbentuknya ikatan kimia antara serbuk tembaga dan *vinyl ester*.



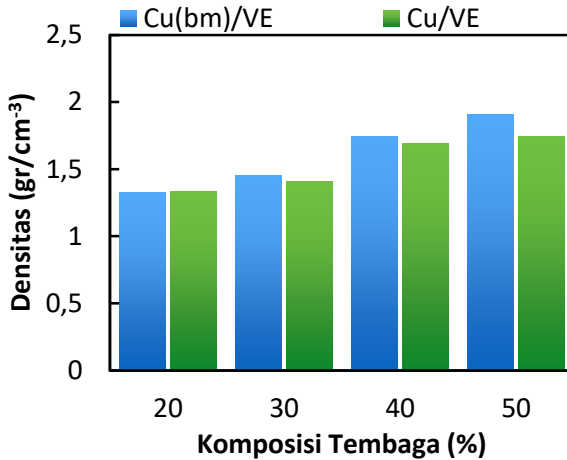
4.4 Pengujian Densitas

Tabel 4. 5 Densitas material komposit Cu/VE

Material	Densitas (g/cm ³)	Porositas (%)
Cu(20%)/VE	1.33	46.87
Cu(30%)/VE	1.40	57.59
Cu(40%)/VE	1.69	58.94
Cu(50%)/VE	1.74	64.57
Cu(20%bm)/VE	1.32	47.36
Cu(30%bm)/VE	1.45	56.24
Cu(40%bm)/VE	1.74	57.77
Cu(50%bm)/VE	1.90	61.35

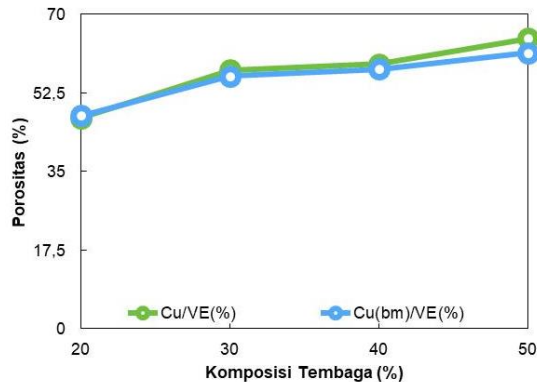
Tabel 4. 6 Nilai densitas teoritis komposit Cu/VE berdasarkan perhitungan rule of mixture

Komposit Cu/VE	Densitas (g/cm ³)
20% Cu	2.512
30% Cu	3.318
40% Cu	4.124
50% Cu	4.93



Gambar 4. 6 Densitas Komposit Cu/VE

Berdasarkan hasil pengujian densitas material komposit Cu/VE diketahui bahwa semakin bertambahnya jumlah serbuk Cu, maka nilai densitas material komposit akan semakin tinggi. hal ini dikarenakan nilai densitas dari serbuk Cu itu sendiri lebih tinggi dari Vinyl Ester. (Yadama. V, 2017)

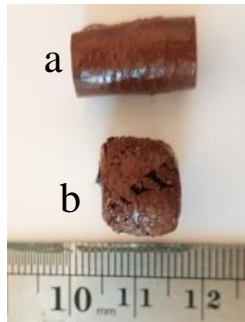


Gambar 4. 7 Porositas pada komposit Cu/VE

Selain itu, nilai porositas pada material komposit semakin meningkat seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan dari VE dan Cu saat di homogenkan, semakin tinggi kadar serbuk Cu, maka komposit akan semakin sulit untuk di bentuk.

4.5 Pengujian Tekan

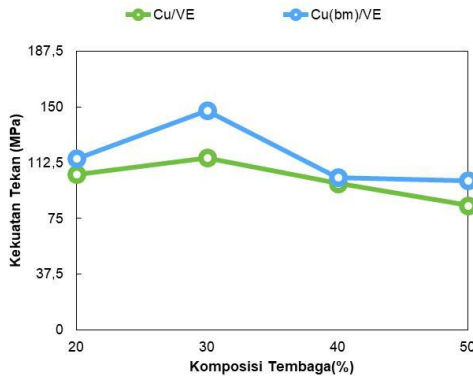
Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui perilaku material saat dikompresi dan nilai kekuatan kompresinya. Berikut adalah data/hasil uji tekan material komposit Cu/VE



**Gambar 4. 8 Spesimen Uji Tekan (a) sebelum pengujian
(b) setelah pengujian**

Tabel 4. 7 Kekuatan Tekan komposit Cu/Ve

Material	Area (mm ²)	Compression str. (MPa)	Pola Patahan
Cu(20%)/VE	70.88	104.7	Ductile
Cu(30%)/VE	70.88	115.8	Ductile
Cu(40%)/VE	70.88	98.7	Ductile
Cu(50%)/VE	70.88	83.9	Ductile
Cu(20%bm)/VE	70.88	115.5	Ductile
Cu(30%bm)/VE	70.88	147.7	Ductile
Cu(40%bm)/VE	70.88	102.7	Ductile
Cu(50%bm)/VE	70.88	100.5	Ductile



Gambar 4. 9 Kekuatan tekan komposit Cu/VE

Nilai tertinggi hasil uji tekan adalah 147.7 MPa pada spesimen 30%Cu/70% VE dengan proses ball mill. Sedangkan nilai uji tekan terendah adalah 83.9 MPa pada spesimen 50%Cu/50% VE.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.2, diketahui bahwa material komposit Cu?VE dengan proses ball mill memiliki nilai rata-rata kompresif yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan serbuk Cu yang memlalui proses ball mill emiliki ukuran partikel yang lebih kecil, sehingga saat pencampuran/pembuatan material komposit, matrix dan agregat lebih mudah bercampur dan vakansi yang ada pada material komposit akan jauh lebih sedikit dibandingkan oleh material komposit yang menggunakan serbuk Cu tanpa proses ball-mill.(D.Setman, 2013).

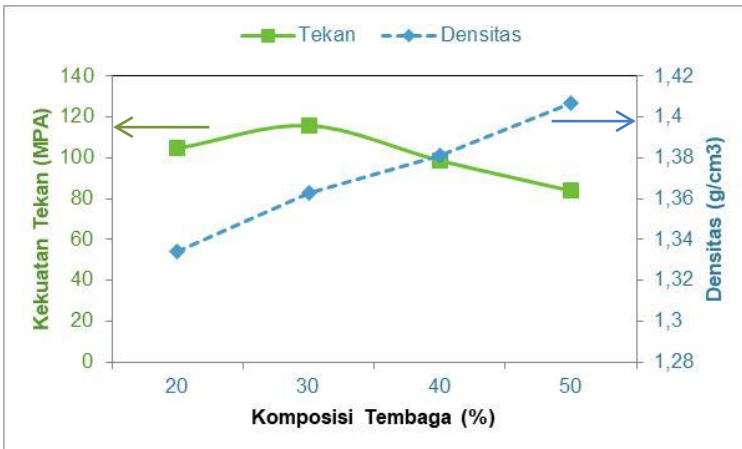
Proses ball mill yang dilakukan akan meningkatkan tegangan pada serbuk tembaga. Proses ini disebut *strain hardening* atau *work hardening*. Proses terjadinya karena



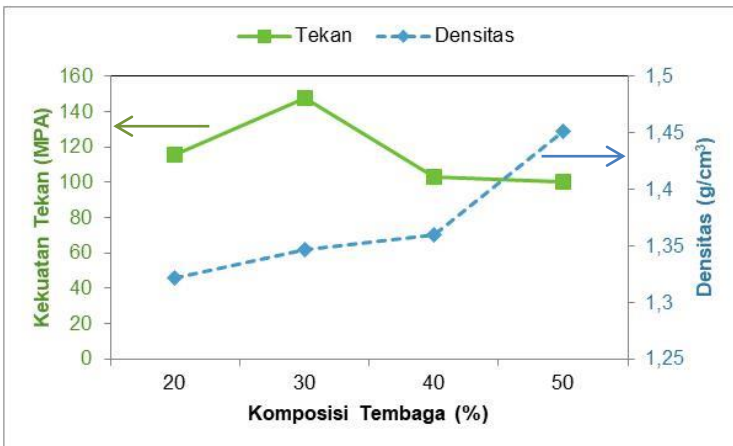
adanya dislokasi dan pergeseran pada struktur Kristal serbuk tembaga. (Degarmo, 2003). Metode ini baik digunakan untuk material *non-brittle* yang memiliki titik leleh cukup tinggi. (Van Melik, 2013). Khususnya pada tembaga yang hanya bisa diperkuat dengan metode *strain hardening*, salah satunya dengan metode ball mill. (Smith, 2006).

Selain itu dengan melalui proses ball mill, oksida yang ada pada permukaan serbuk tembaga juga akan berkurang. Sehingga lapisan oksida (CuO dan Cu_2O) pada serbuk Cu yang melalui proses ball mill akan lebih sedikit nilainya. Efek dari keberadaan lapisan oksida ini akan menyebabkan tingginya nilai porositas dari serbuk Cu, ini akan mempengaruhi nilai kekerasan dan nilai kompresif dari material komposit Cu/VE (Atwater. A, 2017)

Berdasarkan pengujian kekuatan tekan pada Cu/VE dan Cu(bm)/VE, nilai kekuatan tekan yang dihasilkan oleh Cu(bm)/VE lebih besar. Hal ini dikarenakan proses ball mill akan menghilangkan porositas pada permukaan serbuk tembaga yang terbentuk karena serbuk tembaga bereaksi dengan oksigen pada lingkungan dan membentuk CuO dan Cu_2O (Atwater. A, 2017). Selain itu, ukuran serbuk tembaga pada Cu(bm) lebih kecil ($<40\mu$) dibandingkan dengan Cu ($40\text{-}50\mu$). Dengan semakin kecilnya ukuran partikel maka serbuk tembaga akan semakin kompak atau rapat dibandingkan dengan serbuk tembaga yang memiliki ukuran lebih besar. (Jhahharia, 2016).



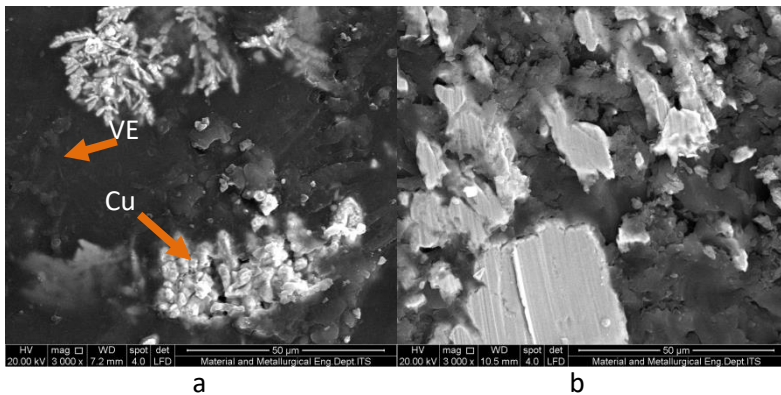
Gambar 4. 10 Sifat Mekanik Komposit Cu/VE



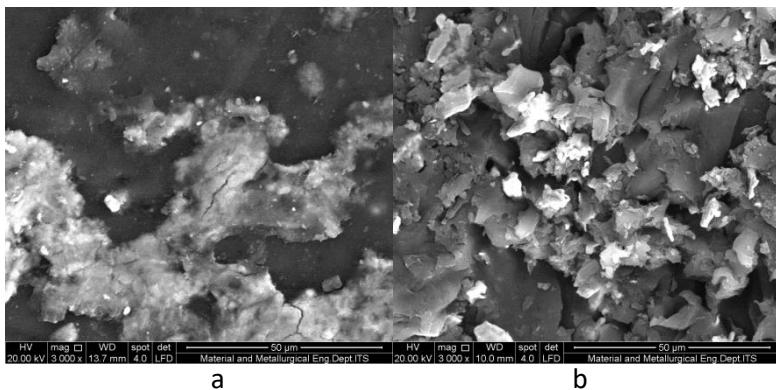
Gambar 4. 11 Sifat Mekanik Komposit Cu(bm)/VE

4.6 Morfologi SEM

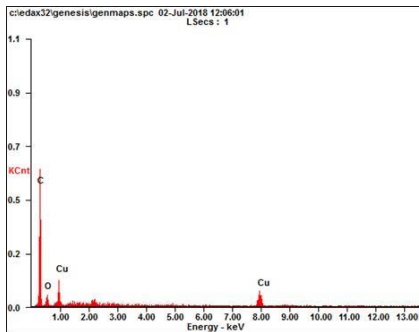
Morfologi serbuk tembaga diamati pada permukaan dan perpotongan dengan perbesaran 3000x.



Gambar 4. 12 Morfologi komposit Cu(40%)/VE (a) surface (b) cross-section



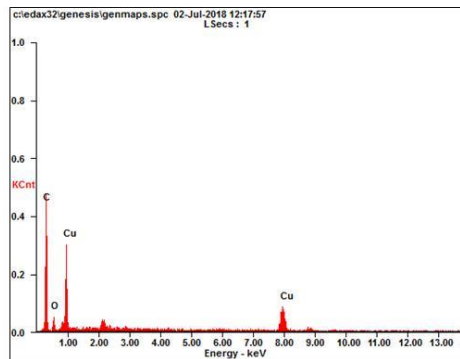
Gambar 4. 13 Morfologi komposit Cu(40%bm)/VE (a) surface (b) cross-section



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>Ar%</i>
<i>CK</i>	58.60	80.67
<i>OK</i>	11.06	11.44
<i>CuK</i>	30.33	07.89
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Gambar 4. 14 EDX komposit Cu(40%)/VE Surface

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>Ar%</i>
<i>CK</i>	51.29	79.21
<i>OK</i>	07.57	08.78
<i>CuK</i>	41.14	12.01
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



Gambar 4. 15 EDX komposit Cu(40%)/VE Cross Section

Persebaran serbuk tembaga pada material Cu(bm)/VE lebih rapat dibandingkan dengan Cu/VE. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian sifat mekanik tekan, kekerasan, dan densitas. Dimana sifat mekanik Cu(bm)/VE lebih tinggi dibandingkan dengan sifat mekanik Cu/VE. Selain itu, diketahui bahwa persebaran serbuk tembaga tidak



merata, serbuk tembaga lebih banyak pada bagian cross section. Persebaran yang tidak merata inilah yang menyebabkan besarnya eror atau standar deviasi pada nilai kekerasan material komposit. (Jhajaria, 2016)



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Peningkatan komposisi serbuk tembaga menurunkan sifat mekanik komposit Cu/VE. Kekuatan tekan pada komposit Cu/VE juga meningkat, dengan peningkatan paling tinggi pada komposisi 30%Cu. Densitas pada material Cu/VE akan semakin besar. Tidak ditemukan ikatan baru pada komposisi Cu/VE berdasarkan uji FTIR.
2. Proses ball mill pada serbuk Cu akan meningkatkan kemampuan mekanik. Kekerasan dan kekuatan tekan Cu(bm)/VE lebih tinggi dari Cu/VE. Untuk densitas mengalami peningkatan dengan penambahan serbuk Cu. Tidak ditemukan ikatan baru pada Cu(bm)/VE.

5.2 Saran

Adapun saran untuk mengoptimalkan hasil dari penelitian ini adalah

1. Adanya penelitian lebih lanjut tentang peluru *frangible* menggunakan resin thermoset sebagai pembanding



-
2. Adanya penelitian lebih lanjut agar mengetahui kemampuan peluru komposit Cu/VE saat digunakan.
 3. Penggunaan alat *ultrasonic stirrer* agar persebaran serbuk Cu lebih merata pada proses *curing*.
 4. Penggunaan *cast* yang bisa di putar agar persebaran serbuk tembaga lebih merata.



DAFTAR PUSTAKA

- Alia, Cristina. 2018. "Characterization of the Chemical Structure of Vinyl Ester Resin in a Climate Chamber under different Conditions of Degradation". Spain : Universidad politecnica de Madrid, Structural Materials Research Centre (CIME).
- Arrieta, JS. Richaud, E. Fayolle, B. Nizeyimana, F. 2016. "Thermal oxidation of vinyl ester and unsaturated polyester resins" **Polymer Degradation and Stability**. Accepted Manuscript.
- ASTM D2240. "Standard Test Method for Rubber Property- Durometer Hardness", **Annual book of ASTM Standards, Vol.08.01**, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D792. "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics". **Annual book of ASTM Standards, Vol.08**, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D792. "Standard Test Methods for Density and specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement". **Annual book of ASTM Standards, Vol.08**, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM E2809 "Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/X-ray Spectrometry in Forensic Paint Examinations". **Annual book of ASTM Standards**,



- Vol.08.01**, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASM Specialty Handbook : Copper and Copper Alloys** (USA : ASM International, 2001).
- ASM Handbook Vol.21 Composites** (USA : ASM International 2001.
- Banovic,S. 2006. “Microstructural Characterization and Mechanical Behaviour of Cu-Sn Frangible Bullets”. Gaithersburg : US Department of Commerce.
- Benini, J.C. 2001. **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles**. Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1.
- Bhatnagar, Anil. 2016. **Lightweight Ballistic Composites for Military and Law-enforcement Applications**. Cambridge, England : Woodhead Publishing Limited.
- Brown, R. 2002. **Handbook of Polymer Testing**. Shresbury : Rapra Technology Ltd.
- Callister, William J. 2009. **Materials Science and Engineering Introduction, 8th Edition**. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- Chawla, Krishan K. 2011. **Composite Materials Science and Engineering**. New York : Springer.
- David, Cripss. 2010. **Manufacturing Incident Reconstruction : Chapter 9 Projectile Ricochet and Dflection**. USA : Elsevier Inc.
- Degarmo, E Paul. Black, JT. Kohser, Ronald A. 2003. **Materials and Process in Manufacturing 9th edition**. Amerika Serikat : John Wiley & Sons, Inc



- Dev S, Shah PN, Zhang Y, Ryan D, Hansen CJ, Lee Y, 2017. "Synthesis and mechanical properties of flame retardant vinyl ester resin for structural composites", **Polymer**, Accepted Manuscript
- Habashi, Fathi. 1997. **Handbook of Extractive Metallurgy**. Wiley Company, Weinheim, Germany.
- Hashemi, Javad. Smith, William. 2009. **Foundation of Materials Science and Engineering**. Amerika Serikat : John Wiley & Sons, Inc.
- Hull, Derek. 1995. **An Introduction to Composite Materials**. New York : Cambridge University Press
- J., Ai L-H., Lin-Y.L. 2010. "Poly(aniline-co-toluidine)/BaFe₂Si₂O₇ Composite : Preparation and Characterization". **Materials Letters**. Vol.64. Hal 888-890.
- Kiener, D. 2013. "strengthening Mechanism of Copper in Submicrometer Regime". USA : University of California.
- M.A. Atwater, T.L. Luckenbaugh, B.C. Hornbuckle, K.A. Darling. 2017. "Advancing commercial feasibility of intraparticle expansion for solid state metal foams by the surface oxidation and room temperature ball milling of copper", **Journal of Alloys and Compounds**, Accepted Manuscript
- Mates, Steven P. 2007. " Tensile Strength Measurements of Freangible Bullets Using the Diametral Compression Test". **Gaithersburg: National Institute of Standard and Technology**.



P,Steven.2018. “Tensile Strength Measurement of Frangible Bullets Using the Diametral Compression Test”. Gaithersburg : **National Institute of Standard and Technology**.

Rachee Jhajharia, Divya Jain, Akanksha Sengar, Ankit Goyal, P.R. Soni. 2016. “Synthesis of copper powder by mechanically activated cementation”. Powder Technology , Accepted ManuscriptJiang

Ratna, Debdatta. 2009. **Handbook of Thermoset Resins**. Shrewsbury: iSmithers – A Smithers Group Company
Segneanu, Adina Elena. Gozescu, Ioan. “Organic Compounds FT-IR Spectroscopy”. Romania : National Institute for Research and Development in Electrochemistry and Condensed Matter, Timisoara (INCEMC-Timisoara)

Setman, D., Kerber, M., Bahmanpour, H., Horky, J., Scattergood, R.O., Koch, C.C., Zehetbauer, M.J. 2013. “Nature and density of lattice defects in ball milled nanostructured copper”, **Mechanics of Materials**, Accepted Manuscript.

Van Melick, H. G. H.; Govaert, L. E.; Meijer, H. E. H. 2003, "On the origin of strain hardening in glassy polymers", **Polymer**. 2493–2502, doi:10.1016/s0032-3861(03)00112-5

Yadama, V. 2007. **Rules of Mixture**. CE 537, 537 Fall

Yadav, S.K., Schmalbach, K.M., Kinaci, E., Stanzione, J.F. III, Palmese, G.R., 2017. “Recent advances in plant-



based vinyl ester resins and reactive diluents”,
European Polymer Journal, Accepted Manuscript

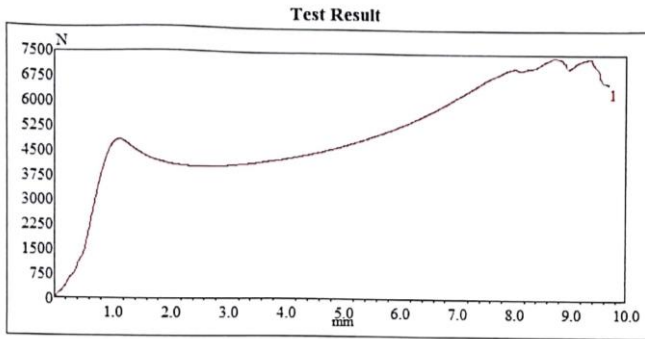
LAMPIRAN A

KEKUATAN TARIK



Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

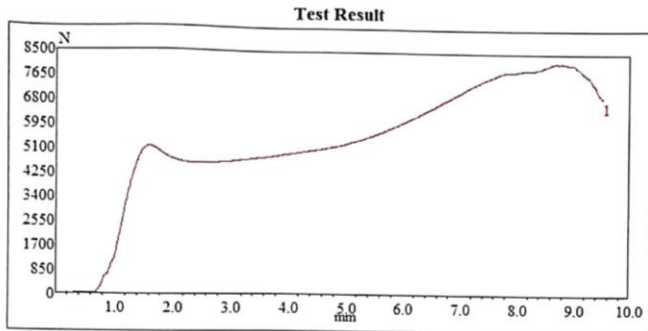
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
B20%-3	9.50	15.00	70.88	7421.9	104.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 1 Kekuatan Tekan Cu(20)/VE

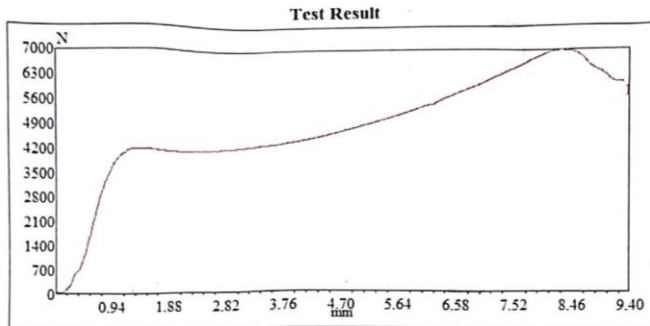
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
B30%-3	9.50	15.00	70.88	8207.5	115.8
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 2 Kekuatan Tekan Cu(30)/VE

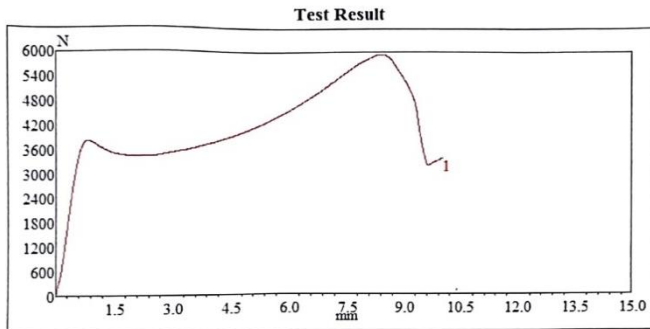
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
B40%-2b	9.50	19.00	70.88	6995.4	98.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 3 Kekuatan Tekan Cu(40)/VE

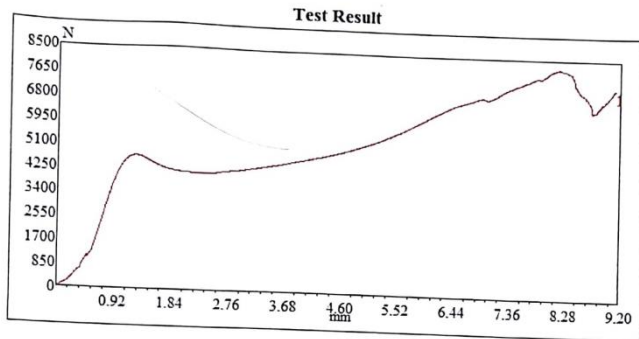
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
B50%-3	9.50	19.00	70.88	5943.7	83.9
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 4 Kekuatan Tekan Cu(50)/VE

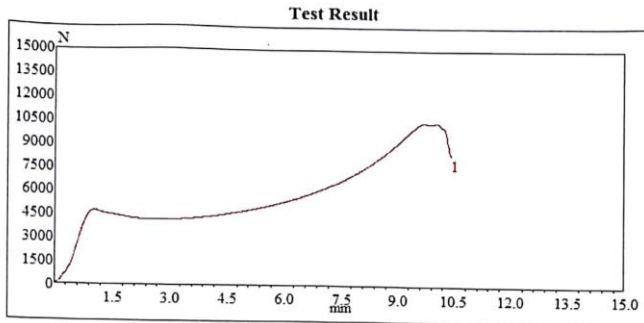
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
A20%-3	9.50	15.00	70.88	8188.2	115.5
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 5 Kekuatan Tarik Cu(20bm)/VE

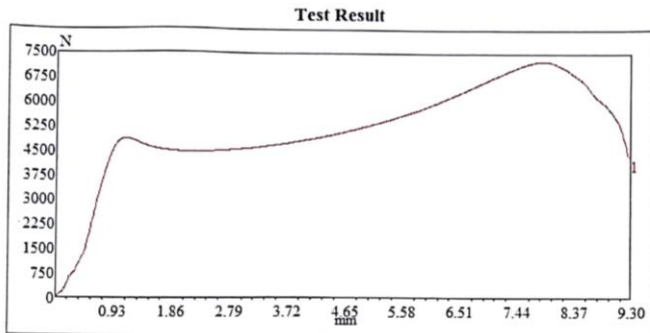
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
A30%-3	9.50	18.00	70.88	10468.8	147.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 6 Kekuatan Tarik Cu(30bm)/VE

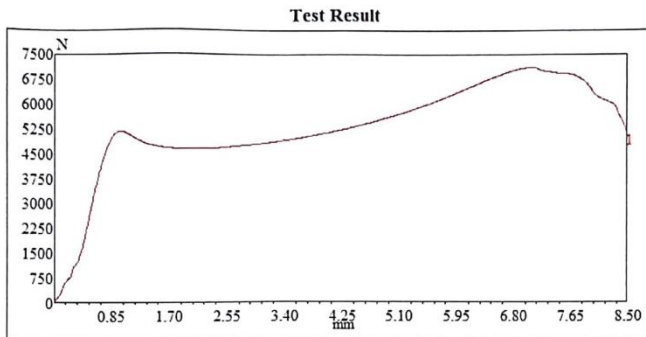
Test Date : 28-06-2018



Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
A40%-3	9.50	17.00	70.88	7279.7	102.7
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Gambar 7 Kekuatan Tarik Cu(40bm)/VE

Test Date : 28-06-2018

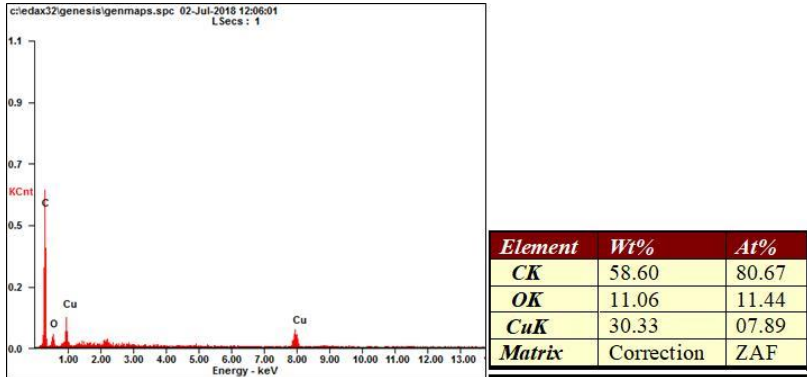


Specimen Code	Diameter mm	Height mm	Area mm ²	Max. Load N	Compression Str. MPa
A50%-3	9.50	17.00	70.88	7123.9	100.5
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

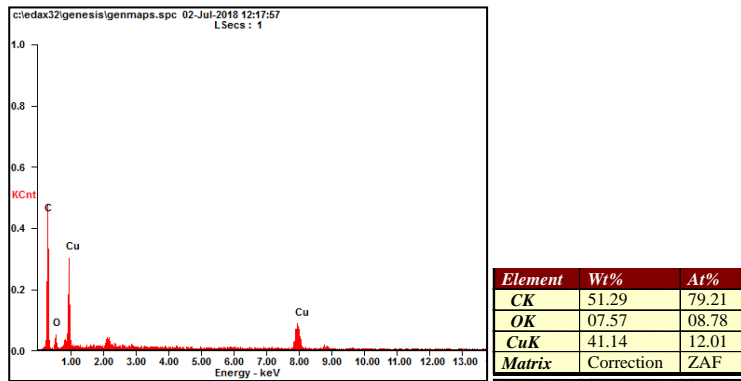
Gambar 8 Kekuatan Tekan Cu(bm)/VE

LAMPIRAN B

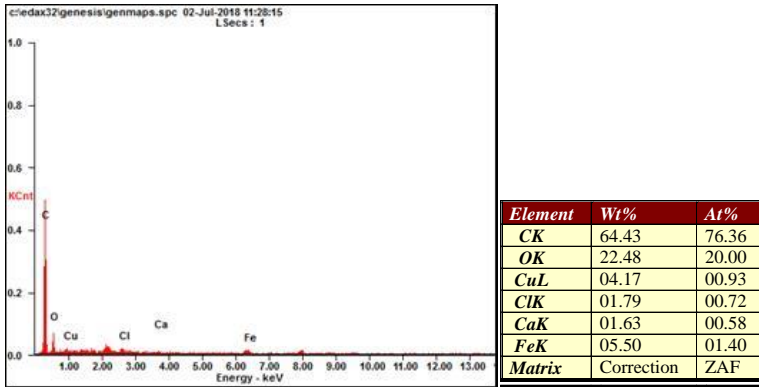
MORFOLOGI SEM



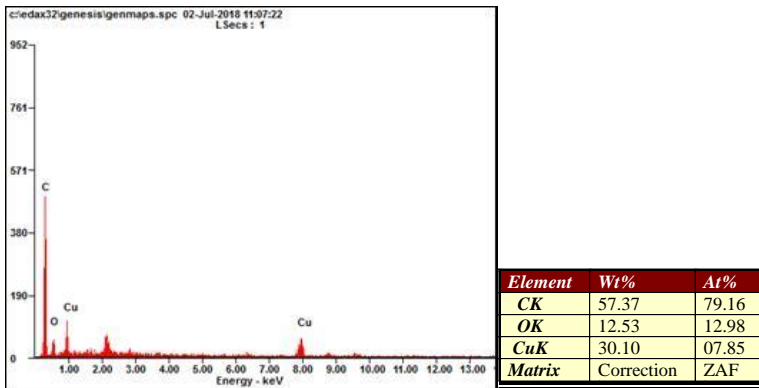
Gambar 1 komposit EDX Cu(40%)/VE Surface



Gambar 2 EDX komposit Cu(40%)/VE Cross Section



Gambar 3 EDX komposit Cu(40%bm)/VE Surface



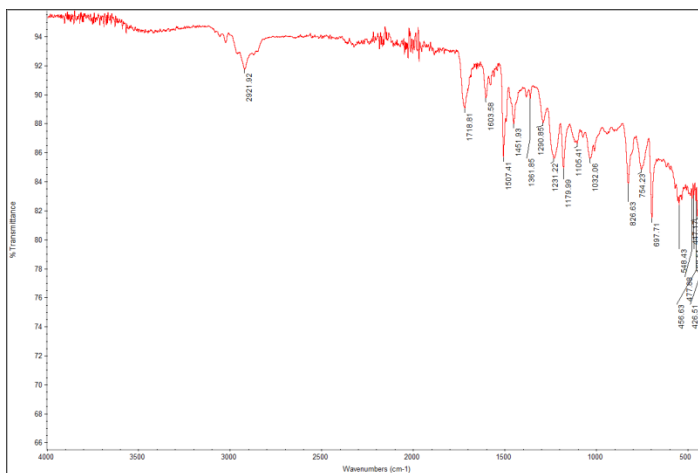
Gambar 4 EDX komposit Cu(40%bm)/VE Cross Section

LAMPIRAN C

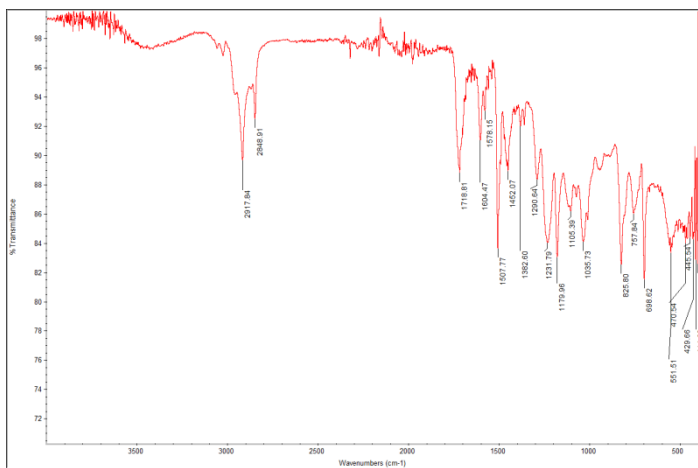
FTIR



Gambar 1 Pure VE



Gambar 2 FTIR Cu/VE



Gambar 3 FTIR Cu(bm)/VE

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN DENSITAS

Tabel 1 Densitas Cu/VE

Cu(bm)/VE	Massa di Udara	Massa di Air	Desitas	Rata-rata
20%	1,63	1,23	1,325203252	1,322110761
	1,65	1,2	1,375	
	1,57	1,24	1,266129032	
30%	1,79	1,28	1,3984375	1,451829594
	1,84	1,3	1,415384615	
	1,85	1,2	1,541666667	
40%	2,08	1,3	1,6	1,741176471
	2,17	1,19	1,823529412	
	2,25	1,25	1,8	
50%	2,41	1,22	1,975409836	1,904968545
	2,33	1,19	1,957983193	
	2,12	1,19	1,781512605	

Tabel 2 Densitas Cu(bm)/VE

Cu/VE	Massa di Udara	Massa di Air	Densitas	Rata-rata
20%	1,51	1,13	1,336283186	1,334427491
	1,54	1,15	1,339130435	
	1,62	1,22	1,327868852	
30%	1,92	1,35	1,422222222	1,406943284
	1,88	1,35	1,392592593	
	1,87	1,33	1,406015038	
40%	2,17	1,33	1,631578947	1,693244967
	2,31	1,3	1,776923077	
	2,44	1,46	1,671232877	
50%	2,4	1,41	1,70212766	1,74648924
	2,26	1,27	1,779527559	
	2,25	1,28	1,7578125	

Tabel 3 Densitas Cu/VE menggunakan *rule of mixture*

Komposit Cu/VE	Densitas
20% Cu	2,512
30% Cu	3,318
40% Cu	4,124
50% Cu	4,93

Tabel 4 Porositas pada Cu/VE

40-50 μ	Cu/VE	Porositas (%)
20	1,334427491	46,8778865
30	1,406943284	57,59664605
40	1,693244967	58,94168363
50	1,74648924	64,57425478

Tabel 5 Porostas pada Cu(bm)/VE

<40 μ	Cu(bm)/VE	Porositas (%)
20	1,322110761	47,36820217
30	1,451829594	56,24383382
40	1,741176471	57,77942603
50	1,904968545	61,35966441

Perhitungan Rule of Mixture

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f$$

$$\rho_m = 1.8$$

$$\rho_f = 8.96$$

1. Cu(20%)/VE

$$\rho_c = 1.8 \times 0.8 + 8.96 \times 0.2$$

$$\rho_c = 2.512$$

2. Cu(30%)/VE

$$\rho_c = 1.8 \times 0.7 + 8.96 \times 0.3$$

$$\rho_c = 3.318$$

3. Cu(40%)/VE

$$\rho_c = 1.8 \times 0.6 + 8.96 \times 0.4$$

$$\rho_c = 4.124$$

4. Cu(50%)/VE

$$\rho_c = 1.8 \times 0.5 + 8.96 \times 0.5$$

$$\rho_c = 4.93$$



BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Harits Adliarso Nugroho, dilahirkan di Kota Jakarta 25 Februari 1996. Penulis menempuh pendidikan formal SD di SD Nasional I (2002 – 2008). Kemudian melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi di SMP Nasional I (2008-2011) dan SMANU M.H. Thamrin (2011-2014). Melalui jalur Mandiri, penulis menjalani masa menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Industri, Departemen Teknik Material dengan NRP 02511440000131 (2014-2018). Selama masa perkuliahan, penulis mengikuti beberapa organisasi, diantaranya Himpunan Teknik Material dan Metalurgi (HMMT FTI-ITS) dan INDOCOR ITS SC. Penulis juga telah melaksanakan kerja praktek di PT. PJB UP Gresik. Sebagai penutup, penulis dibawah bimbingan dosen Dr. Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc dan Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si., telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisa Pengaruh Ukuran Partikel Serbuk Tembaga Terhadap Material Komposit Cu/Ve Sebagai Material Kandidat Peluru *Frangible*”.

email: haritsadliarso@gmail.com